

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2002年11月21日 (21.11.2002)

PCT

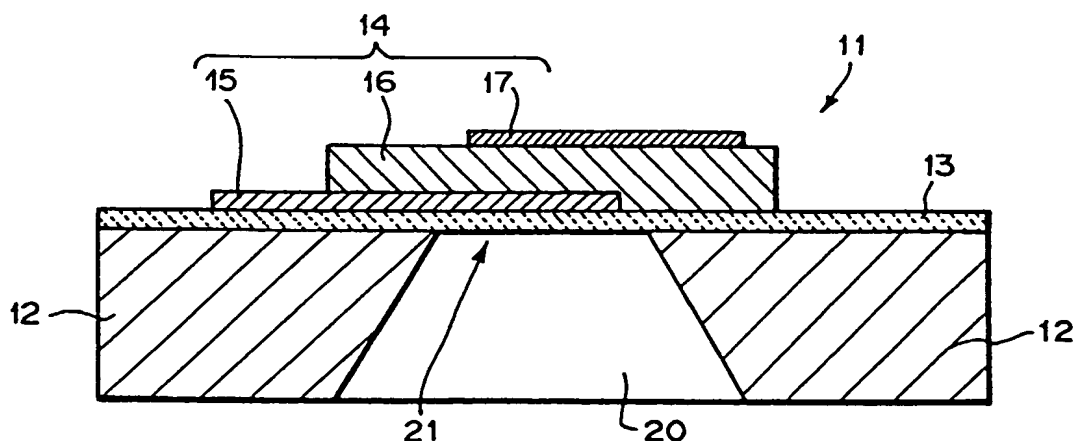
(10) 国際公開番号  
WO 02/093740 A1

- (51) 国際特許分類: H03H 9/17 (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山田 哲夫 (YAMADA, Tetsuo) [JP/JP]; 〒755-8633 山口県 宇部市 大字 小串 1 9 7 8 番地の 5 宇部興産株式会社宇部研究所内 Yamaguchi (JP). 長尾 圭吾 (NAGAO, Keigo) [JP/JP]; 〒755-8633 山口県 宇部市 大字 小串 1 9 7 8 番地の 5 宇部興産株式会社宇部研究所内 Yamaguchi (JP). 橋本 智仙 (HASHIMOTO, Chisen) [JP/JP]; 〒755-8633 山口県 宇部市 大字 小串 1 9 7 8 番地の 5 宇部興産株式会社宇部研究所内 Yamaguchi (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP02/04576
- (22) 国際出願日: 2002年5月10日 (10.05.2002)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2001-141846 2001年5月11日 (11.05.2001) JP  
特願2001-182196 2001年6月15日 (15.06.2001) JP  
特願2001-394388 2001年12月26日 (26.12.2001) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 宇部エレクトロニクス株式会社 (UBE ELECTRONICS, LTD.) [JP/JP]; 〒759-2214 山口県 美祢市 大嶺町奥分字麦川 2 0 2 3 番地 2 Yamaguchi (JP).
- (74) 代理人: 山下 穰平 (YAMASHITA, Johei); 〒105-0001 東京都 港区 虎ノ門五丁目 1 3 番 1 号 虎ノ門 4 0 森ビル 山下国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ,

[続葉有]

(54) Title: FILM BULK ACOUSTIC RESONATOR

(54) 発明の名称: 圧電薄膜共振子



(57) Abstract: A film bulk acoustic resonator comprises a substrate (12) of a single silicon crystal, a base film (13) formed on the substrate (12) and composed of a dielectric film mainly containing silicon oxide, and a piezoelectric multilayer structure (14) formed on the base film (13). A vibratory section (21) composed of a part of the base film (13) and a part of the piezoelectric multilayer structure (14). The piezoelectric multilayer structure (14) includes a lower electrode (15), a piezoelectric film (16), and an upper electrode (17) in this order from below. The substrate (12) has a via hole in the region corresponding to the vibratory section (21). The via hole forms a space for allowing vibration of the vibratory section (21). The piezoelectric film (16) is an aluminum nitride thin film containing 0.2 to 3.0 atom% of alkaline earth metal and/or a rare earth metal. Thus, the film bulk acoustic resonator has a large electromechanical coupling coefficient, an excellent acoustic quality factor (Q), an excellent frequency-temperature characteristic, high characteristics, and a high performance.

[続葉有]



OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

添付公開書類:

— 国際調査報告書

- (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

---

(57) 要約:

シリコン単結晶からなる基板（１２）と、その上に形成された酸化シリコンを主成分とする誘電体膜からなる下地膜（１３）と、その上に形成された圧電積層構造体（１４）とを有する。下地膜（１３）の一部と圧電積層構造体（１４）の一部とを含んで振動部（２１）が構成されている。圧電積層構造体（１４）は、下部電極（１５）、圧電体膜（１６）および上部電極（１７）をこの順に積層してなる。基板（１２）は振動部（２１）に対応する領域にて振動部（２１）の振動を許容する空隙を形成するピアホール（２０）を有する。圧電体膜（１６）は、アルカリ土類金属及び／または希土類金属を０．２～３．０原子％含有する窒化アルミニウム薄膜である。これにより、電気機械結合係数が大きく、音響的品質係数（Ｑ値）及び周波数温度特性に優れ高特性で高性能な圧電薄膜共振子が提供される。

## 明 細 書

## 圧電薄膜共振子

5    技術分野

本発明は、移動体通信機等に利用される薄膜共振器、薄膜VCO（電圧制御発信器）、薄膜フィルター、送受切替器や各種センサーなど、広範な分野で用いられる圧電体薄膜を利用した素子たる圧電薄膜共振子に関する。

- 10    また、本発明は、このような圧電薄膜共振子の圧電体薄膜として有用な窒化アルミニウム薄膜を用いた積層体に関するものである。

背景技術

- 15    圧電現象を応用した素子は広範な分野で用いられている。携帯電話機などの携帯機器において、小型化と低消費電力化が進む中で、RF用およびIF用フィルターとして弾性表面波（Surface Acoustic Wave：SAW）素子の使用が拡大している。SAWフィルターは設計および生産技術の向上によりユーザーの厳しい要求仕様に対応してきたが、利用周波数の高周波数化と共に特性向上の限界に近づき、電極形成の微細化と安定した出力確保との両面で大きな技術革新が必要となってきた。
- 20    いる。

- 一方、圧電体薄膜の厚み振動を利用した薄膜バルク波共振子（Thin Film Bulk Acoustic Resonator：以下FBARと略称）、積層型薄膜バルク波共振器およびフィルター（Stacked Thin Film Bulk Acoustic Wave Resonators and Filters：以下SBARと略称）
- 25    は、基板に設けられた薄い支持膜の上に、主として圧電体より成る薄膜と、これを駆動する電極とを形成したものであり、ギガヘルツ帯での基本共振が可能である。FBARまたはSBARでフィルターを構成すれば、
- 30    著しく小型化でき、かつ低損失・広帯域動作が可能な上に、半導体集積回

路と一体化することができるので、将来の超小型携帯機器への応用が期待されている。

弾性表面波を利用した共振器、フィルター等に応用されるSAWフィルターは、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムなどの圧電体単結晶よりなるウェハーの表面に、弾性表面波を励振させるための楕形の電極や反射器を形成した後、1素子単位に分離することにより製造される。また、最近では、以下のようなSAWフィルターの製造方法も検討されている。シリコンなどの半導体単結晶基板や、シリコンウェハー上に多結晶ダイヤモンドを形成してなる硬質基板などの上に、種々の薄膜形成方法によって圧電体薄膜を形成する。次に、微細加工、パターニングにより、該圧電体薄膜の表面に弾性表面波を励振させるための楕形の電極や反射器を形成する。最後に、1素子単位に分離することによりSAWフィルターを得る。

また、弾性波を利用した共振器、フィルター等に応用されるFBAR、SBARなどの薄膜圧電素子（これは圧電薄膜素子とも呼ばれる）は、以下のようにして製造される。シリコンなどの半導体単結晶基板や、シリコンウェハー上に多結晶ダイヤモンドを形成してなる基板や、エリンバーなどの恒弾性金属からなる基板の上に、種々の薄膜形成方法によって、誘電体薄膜、導電体薄膜、またはこれらの積層膜からなる下地膜を形成する。この下地膜上に圧電体薄膜を形成し、さらに必要に応じた構成の上部構造を形成する。各層の形成後に、または全層を形成した後に、各々の膜に物理的処理または化学的処理を施すことにより、微細加工、パターニングを行う。異方性エッチングにより基板から圧電体薄膜の振動部の下に位置する部分を除去した浮き構造を作製した後、最後に1素子単位に分離することにより圧電薄膜共振子（これは薄膜圧電共振子とも呼ばれる）を得る。

例えば、特開昭58-153412号公報や特開昭60-142607号公報に記載された薄膜圧電素子は、基板上に下地膜、下部電極、圧電体薄膜、上部電極を形成した後に、基板裏面から振動部となる部分の下にある基板部分を除去して、ビアホールを形成することにより製造されている。

る。

薄膜圧電素子用の圧電材料としては、窒化アルミニウム (AlN)、酸化亜鉛 (ZnO)、硫化カドミウム (CdS)、チタン酸鉛 [PbTiO<sub>3</sub>] (PbTiO<sub>3</sub>)、チタン酸ジルコン酸鉛 [PZT] (Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub>) などが用いられている。特にAlNは、弾性波の伝播速度が速く、高周波帯域で動作する薄膜共振器や薄膜フィルタ用の圧電材料として適している。

これまで、AlN薄膜をFBARまたはSBARに適用するために、種々の検討が行われてきた。しかしながら、未だ、ギガヘルツ帯域で十分な性能を発揮する薄膜共振器及び薄膜フィルタは得られておらず、AlN薄膜の音響的品質係数 (Q値)、周波数温度係数および挿入損失の改善が望まれている。音響的品質係数 (Q値)、広帯域動作、周波数温度特性の全てに優れ、高性能な共振特性を示す薄膜圧電素子は提案されていない。電気機械結合係数は共振器やフィルタを構成する上での上記の様な性能を左右する重要なパラメーターであり、使用する圧電体薄膜の膜品質に大きく依存する。

そこで、本発明は、弾性波の伝播速度が速いというAlN薄膜の特長を活かしつつ、電気機械結合係数が大きく、音響的品質係数 (Q値)、周波数温度特性に優れ、あるいは帯域幅、挿入損失、利得などの特性面に優れ、従来のものに比べて著しく高特性で高性能な圧電薄膜共振子を提供することを目的とする。

また、本発明は、上記AlN薄膜の特長を活かしつつ、電気機械結合係数が大きく、従って音響的品質係数 (Q値)、帯域幅、周波数温度特性に優れ、従来に比べて著しく高特性、高性能なFBARまたはSBARを実現できる薄膜圧電共振子を提供することを目的とする。また、本発明は、このような薄膜圧電共振子を実現するために好適であって窒化アルミニウム薄膜を含んでなる積層体を提供することを目的とする。

#### 発明の開示

本発明者らは、AlN薄膜を圧電体薄膜 (圧電体膜) としてSiなどの

基板上に備えたF B A Rの共振特性が、A 1 N薄膜にアルカリ土類金属や希土類金属などの第三成分を添加することにより著しく改善されることを見出した。そして、第三成分を添加した高品質のA 1 N薄膜をF B A Rに使用することにより、電気機械結合係数が大きく、Q値、帯域幅及び周波数温度特性に優れた高性能なF B A Rを実現できることを見出し、本発明に到達した。

即ち、本発明によれば、上記の目的を達成するものとして、

基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とを有しており、前記圧電積層構造体の一部を含んで振動部が構成されており、前記圧電積層構造体は下部電極、圧電体膜および上部電極を前記基板の側からこの順に積層してなるものであり、前記基板は前記振動部に対応する領域にて該振動部の振動を許容する空隙を形成している圧電薄膜共振子において、

前記圧電体膜がアルカリ土類金属及び／または希土類金属を含有する窒化アルミニウム薄膜であることを特徴とする圧電薄膜共振子、  
が提供される。

本発明の一態様においては、前記圧電体膜における前記アルカリ土類金属及び前記希土類金属の含有量は0.2～3.0原子%である。本発明の一態様においては、前記圧電体膜は、C軸配向を示し、(0002)面のX線回折ピークのロッキング・カーブ半値幅が3.0°以下である。本発明の一態様においては、前記圧電体膜は、C軸長が0.4978～0.4993nmである。本発明の一態様においては、前記圧電体膜は、(0002)面のX線回折ピークの2θ回転角の半値幅が0.6°以下である。

本発明の一態様においては、前記基板と前記圧電積層構造体との間には下地膜が形成されており、前記振動部は前記下地膜の一部をも含んで構成されている。本発明の一態様においては、前記下地膜は酸化シリコンを主成分とする誘電体膜、窒化シリコンを主成分とする誘電体膜または酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜である。

本発明の一態様においては、前記基板はシリコン単結晶からなる。本発

明の一態様においては、前記上部電極は互いに離隔して形成された第1の電極部と第2の電極部とからなる。

本発明の一態様においては、2.0～3.0GHzの範囲における共振周波数及び反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数が4.5%以上である。

本発明では、AlN薄膜形成時に、薄膜原料としてアルカリ土類金属または希土類金属を添加することにより、これらの第三成分を含有するAlN薄膜を形成し、これをFBARの圧電体膜となす。アルカリ土類金属または希土類金属の添加により、AlNの結晶格子に固溶する酸素の濃度を低減できるばかりでなく、C軸配向AlN粒子の粒界の結合強度を高めることができ、共振子及びフィルターとしての性能が大幅に向上するものと考えられる。

また、本発明者らは、AlN薄膜を圧電体薄膜としてSiなどの基板上に備えたFBARまたはSBARの共振特性が、電極となる金属薄膜とAlN薄膜との界面における格子整合の状態に大きく依存しており、AlNに対して、同じウルツ鉱型の結晶構造を有する窒化ガリウム(GaN)または窒化インジウム(InN)を添加して、結晶格子のa軸長を制御することにより、その共振特性が著しく改善されることを見出し、本発明に到達した。

即ち、GaN結晶のa軸長は0.319nm前後の値であり、InN結晶のa軸長は0.353nm前後の値であり、これらはAlN結晶のa軸長(0.311nm前後の値)よりも大きい、このため、AlNの結晶格子にGaNまたはInNを固溶させることにより、a軸長を大きくし、下部電極を構成する金属結晶の特定方位の格子長との一致度を改善し、良好な格子整合関係を実現することができる。

即ち、本発明によれば、上記の目的を達成するものとして、

圧電体膜とその両面にそれぞれ形成された電極とを含む圧電積層構造体の一部を含んで振動部が構成される圧電薄膜共振子であって、

前記圧電体膜は一般式 $Al_{1-x}Ga_xN$ (但し、 $0 < x < 1$ )で表される窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体または一般式 $Al_{1-y}$

$\text{In}_y\text{N}$  (但し、 $0 < y < 1$ ) で表される窒化アルミニウムと窒化インジウムとの固溶体よりなる配向性結晶膜であることを特徴とする圧電薄膜共振子、  
が提供される。

- 5      本発明の一態様においては、前記圧電積層構造体は複数の圧電体膜と該複数の圧電体膜のそれぞれの両面にそれぞれ形成された電極とを含んでいる。本発明の一態様においては、前記圧電積層構造体はその周辺部が基板に支持され且つ中央部が前記振動部を構成している。

また、本発明によれば、上記の目的を達成するものとして、

- 10      基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とを有しており、前記圧電積層構造体の一部を含んで振動部が構成されており、前記圧電積層構造体は下部電極、圧電体膜および上部電極を前記基板の側からこの順に積層した構造を含んでなるものであり、前記基板は前記振動部に対応する領域にて該振動部の振動を許容する空隙を形成している圧電薄膜共振子であって、  
15      て、

前記圧電体膜は一般式  $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$  (但し、 $0 < x < 1$ ) で表される窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体または一般式  $\text{Al}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$  (但し、 $0 < y < 1$ ) で表される窒化アルミニウムと窒化インジウムとの固溶体よりなる配向性結晶膜であることを特徴とする圧電薄膜共振子、  
20      が提供される。

本発明の一態様においては、前記上部電極は互いに離隔して形成された第1の電極部と第2の電極部とからなる。

更に、本発明によれば、上記の目的を達成するものとして、

- 25      基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とを有しており、前記圧電積層構造体の一部を含んで振動部が構成されており、前記圧電積層構造体は下部電極、第1の圧電体膜、内部電極、第2の圧電体膜および上部電極を前記基板の側からこの順に積層してなるものであり、前記基板は前記振動部に対応する領域にて該振動部の振動を許容する空隙を形成している  
30      圧電薄膜共振子であって、

前記第1の圧電体膜及び前記第2の圧電体膜はいずれも一般式 $Al_{1-x}Ga_xN$ （但し、 $0 < x < 1$ ）で表される窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体または一般式 $Al_{1-y}In_yN$ （但し、 $0 < y < 1$ ）で表される窒化アルミニウムと窒化インジウムとの固溶体よりなる配向性結晶膜であることを特徴とする圧電薄膜共振子、  
5 提供される。

以上のような本発明の一態様においては、前記基板と前記圧電積層構造体との間には絶縁体層が形成されており、前記振動部は前記絶縁体層の一部をも含んで構成されている。本発明の一態様においては、前記絶縁体層は酸化シリコン（ $SiO_2$ ）を主成分とする誘電体膜、窒化シリコン（ $SiN_x$ ）を主成分とする誘電体膜または酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜である。これにより、 $AlN$ 系圧電薄膜共振子の高い電気機械結合係数を維持したまま、周波数温度特性を改善し、特性・性能の安定化を図ることができる。  
10  
15

本発明の一態様においては、前記基板は半導体または絶縁体からなる。本発明の一態様においては、前記基板はシリコン単結晶からなる。

本発明の一態様においては、前記圧電体膜または前記第1の圧電体膜及び前記第2の圧電体膜は、C軸配向を示し、（0002）面のX線回折ピークのロッキング・カーブ半値幅が $3.0^\circ$ 以下である。  
20

本発明では、圧電体膜として窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体薄膜または窒化アルミニウムと窒化インジウムとの固溶体薄膜を使用して、圧電体膜と電極層の金属結晶との格子整合をはかることにより、圧電体膜の配向性及び結晶性が改善され、電気機械結合係数が大きくQ値の高い圧電体膜を得ることができる。このような高配向性、高結晶性の圧電体薄膜を使用してFBARまたはSBARを作製することにより、低損失、高利得で、帯域幅、周波数温度特性などに優れた（例えば $2.0 \sim 3.0$  GHzの範囲における共振周波数と反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数 $K_t^2$ が $4.5\%$ 以上である）高性能なFBARまたはSBARを実現することができる。  
25  
30

また、本発明者らは、A 1 N 薄膜の配向性と結晶性が下地膜を構成する金属電極膜の配向性および結晶性に著しく依存することを見出した。また、本発明者らは、A 1 N 薄膜を圧電体薄膜として S i 基板上に構成した F B A R または S B A R の共振特性が、下部電極となる金属薄膜の材質、  
5 弾性率、配向性、結晶性などの性状と A 1 N 薄膜自体の配向性、結晶性、圧電性などの性状との両方に大きく依存することを見出した。即ち、高弾性かつ高配向性の金属薄膜より成る下部電極と高配向性、高結晶性の c 軸配向窒化アルミニウム薄膜との組み合わせを最適化して、両者の膜質を制御、向上させることにより、薄膜圧電共振子の電気機械結合係数及び音響  
10 的品質係数（Q 値）が大きくなり、薄膜圧電共振子や薄膜圧電フィルターとしての性能が著しく向上することを見出した。即ち、下部電極を体心立方構造の第 1 の金属層と面心立方構造の第 2 の金属層との積層を含む 2 以上の金属層から構成し、その上に A 1 N より成る圧電体薄膜を形成することにより、該 A 1 N 薄膜の配向性および結晶性が改善され、この様にして  
15 得られる積層体を用いて F B A R または S B A R を構成することにより、電気機械結合係数が大きく、Q 値、帯域幅、周波数温度特性に優れた高性能な F B A R または S B A R を実現できることを見出して、本発明を完成させた。

即ち、本発明によれば、以上の様な目的を達成するものとして、  
20 金属電極と該金属電極の上に少なくとも一部が形成された c 軸配向を示す窒化アルミニウム薄膜との積層体であって、前記金属電極が体心立方構造を有する第 1 の金属層と面心立方構造を有する第 2 の金属層との積層を含む 2 以上の金属層から構成されており、前記第 1 の金属層の厚さが前記金属電極の厚さの 0.5 倍以上であることを特徴とする窒化アルミニウム  
25 薄膜－金属電極積層体、  
が提供される。

本発明の一態様においては、前記第 1 の金属層は、モリブデン、タングステン、モリブデンを主成分とする合金、およびタングステンを主成分とする合金のうちから選ばれる金属で構成されている。本発明の一態様にお  
30 いては、前記第 2 の金属層は、イリジウム、白金、金、アルミニウム、

銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、および銀を主成分とする合金のうちから選ばれる金属で構成されている。本発明の一態様においては、前記窒化アルミニウム薄膜は前記第1の金属層と接して形成されている。

5 本発明の一態様においては、前記窒化アルミニウム薄膜と前記第1の金属層との間に、前記金属電極の厚さの0.1倍以下の厚さの金属層または化合物層からなる界面層が形成されている。本発明の一態様においては、前記界面層は、アルミニウム、シリコン、アルミニウムを主成分とする合金または化合物、およびシリコンを主成分とする合金または化合物から選  
10 ばれる金属または化合物で構成されている。

本発明の一態様においては、前記第2の金属層の前記第1の金属層に面する側とは反対の側の面に、密着金属層が形成されている。本発明の一態様においては、前記密着金属層は、マグネシウム、チタン、バナジウム、  
15 シルコニウム、ハフニウム、ニオブ、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から  
20 選ばれる金属で構成されている。

本発明の一態様においては、前記窒化アルミニウム薄膜の(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.3°未満である。本発明の一態様においては、前記第1の金属層の(110)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が4.5°未満である。

25 また、本発明によれば、以上の様な目的を達成するものとして、

圧電体薄膜が複数の電極の間に挟み込まれ、前記圧電体薄膜がその周囲の支持により中心部にて橋架けされてなる構造を有する薄膜圧電共振子において、前記圧電体薄膜と前記電極のうちの1つが以上の様な窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電  
30 共振子、

が提供される。

また、本発明によれば、以上の様な目的を達成するものとして、

振動空間を有する半導体あるいは絶縁体からなる基板と、該基板の前記振動空間に面する位置にて下部電極、圧電体薄膜（圧電体膜）および上部電極がこの順に積層された積層構造体とを備えている薄膜圧電共振子において、前記圧電体薄膜と前記下部電極とが以上の様な窒化アルミニウム薄膜－金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電共振子、

が提供される。尚、本明細書において、用語「薄膜圧電共振子」は用語「圧電薄膜共振子」と同義である。

本発明の一態様においては、前記上部電極は互いに隔離して配置された2つの電極部からなる。

また、本発明によれば、以上の様な目的を達成するものとして、

振動空間を有する半導体あるいは絶縁体からなる基板と、該基板の前記振動空間に面する位置にて下部電極、第1の圧電体薄膜、内部電極、第2の圧電体膜および上部電極がこの順に積層された積層構造体とを備えている薄膜圧電共振子において、前記第1の圧電体薄膜と前記下部電極とが以上の様な窒化アルミニウム薄膜－金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電共振子、

が提供される。

以上の本発明の一態様においては、前記振動空間に面する位置にて前記積層構造体には少なくとも一層の酸化シリコンおよび／または窒化シリコンを主成分とする絶縁層が付されている。

以上の本発明の一態様においては、前記上部電極や前記内部電極は、モリブデン、タングステン、ニオブ、アルミニウム、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、およびアルミニウムを主成分とする合金のうちから選ばれる金属を含んで構成されている。

以上の本発明の一態様においては、前記上部電極や前記内部電極は、モリブデン、タングステン、ニオブ、モリブデンを主成分とする合金、タン

グステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、イリジウム、白金、金、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、銀を主成分とする合金、マグネシウム、アルミニウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、タンタル、  
5 クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、および  
10 ニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属からなる金属層の2種類以上の積層を含んで構成されている。

本発明では、体心立方構造の第1の金属層と面心立方構造の第2の金属層との積層を含む2層以上の金属薄膜から構成された金属電極上にA1N薄膜を形成することにより窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体を作製する。典型的には、金属電極は所定の形状にパターンニングされるので、  
15 A1N薄膜の一部はシリコン基板またはシリコン基板上に形成された酸化シリコンおよび/または窒化シリコンを主成分とする絶縁層上に形成される。金属電極の弾性率を高めるためには、体心立方構造の高弾性率の第1の金属層の厚さは金属電極を構成する2層以上の金属薄膜全体の厚さの0.5倍以上にする必要がある。

20 面心立方構造の金属においては、(111)面の原子密度は(100)面、(110)面などの他の方位の結晶面の原子密度よりも高いので、(111)面が表面エネルギーの小さな熱力学的に安定な結晶面として存在する。このため、面心立方構造の金属においては、(111)配向の高結晶性の薄膜が得られるので、結晶の配向性評価の指標となる(111)  
25 回折ピークのロッキング・カーブは急峻なピークとなり、その半値幅(FWHM)は小さな値となる。このような高配向性、高結晶性の金属薄膜と接して形成された窒化アルミニウムは、やはり高配向性、高結晶性の薄膜として成長し易いので、ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)の小さな良質の窒化アルミニウム薄膜が得られる。しかしながら、面心立方構造の  
30 金属は、イリジウムおよびイリジウムを主成分とする合金を除けば、弾性

率が小さいという難点がある。また、イリジウムおよびイリジウムを主成分とする合金には、高価で、微細加工が難しいという問題がある。

これに対して、体心立方構造の金属においては、(110)面の原子密度は(100)面、(111)面などの他の方位の結晶面の原子密度より  
5 も若干高い程度であり、必ずしも(110)面が安定に成長できるわけではない。このため、通常の薄膜形成手段では、(110)配向の高結晶性の薄膜を得ることは難しく、結晶の配向性評価の指標となる(110)回折ピークのロッキング・カーブが広がり、その半値幅(FWHM)は大きな値となる。

10 本発明においては、高配向性、高結晶性の薄膜が容易に得られる面心立方構造の第2の金属の薄膜の上に、体心立方構造の第1の金属の薄膜を形成することによって、(110)配向で高配向性、高結晶性の体心立方構造の第1の金属の薄膜を容易に得ることができる。面心立方構造の第2の金属としては、イリジウム、白金、金、アルミニウム、銀、イリジウムを  
15 主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、および銀を主成分とする合金のうちから選ばれる金属を採用することが好ましい。体心立方構造の第1の金属としては、モリブデン、タングステン、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金などの弾性率が $2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$  以上の高  
20 弾性金属を使用することが好ましい。これらの高弾性金属は、薄膜圧電共振子用の電極材質として望ましい特性を有している。例えば、モリブデンの熱弾性損失はアルミニウムの約1/56より小さく、この点で、モリブデンは特に好適な電極材料である。以上のようにして作製された前記の第1の金属層の(110)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)は4.5°未満、好ましくは3.5°以下である。このような、(110)配向で高配向性、高結晶性の体心立方構造の金属薄膜と接して窒化アルミニウム薄膜を形成することにより、(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.3°未満、好ましくは2.5°  
25 以下となる高配向性、高結晶性の窒化アルミニウム薄膜を容易に成長させることができ、FBAR、SBARなどの用途に適した高特性の窒化アル  
30

ミニウム薄膜－金属電極積層体を得ることができる。

また、本発明においては、窒化アルミニウム薄膜と体心立方構造の第1の金属層との間に、金属電極を構成する2層以上の金属薄膜全体の厚さの0.1倍以下の厚さの別の金属層または化合物層からなる界面層を形成させていても、前記と同様の高配向性、高結晶性の窒化アルミニウム薄膜を容易に成長させることができ、FBAR、SBARなどの用途に適した高特性の窒化アルミニウム薄膜－金属電極積層体を得ることができる。窒化アルミニウム薄膜と体心立方構造の第1の金属層との間に形成される界面層となる金属層または化合物層は、アルミニウム、シリコン、アルミニウムを主成分とする合金または化合物、およびシリコンを主成分とする合金または化合物から選ばれる金属または化合物で構成されていることが好ましい。

本発明の窒化アルミニウム薄膜－金属電極積層体は、典型的には、半導体あるいは絶縁体から成る基板の上に形成される。このため、基板と金属電極との密着性が重要となる。両者の密着度を改善するために、面心立方構造の第2の金属層と基板との間に密着金属層を介在させることが望ましい。密着金属層に使用する金属としては、マグネシウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、ニオブ、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属を採用することが好ましい。

本発明で提案した体心立方構造の金属層と面心立方構造の金属層との積層というような、結晶構造の異なる2種類以上の金属層を積層した多層金属薄膜電極の上に窒化アルミニウムを成長させることによって、窒化アルミニウム薄膜の配向性、結晶性などの膜質を改善しようとする試みは、これまで全く行われていない。また、このような多層金属薄膜と窒化アルミニウム薄膜との組み合わせにより、圧電体薄膜の品質を向上させて、共振器、フィルターなどの薄膜圧電素子としての性能を改善しようという試み

も、これまで全く行われていない。

本発明によれば、2.0～3.0GHzの範囲における共振周波数と反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数 $k_e^2$ が4.5%以上たとえば4.5～6.5%である高性能な薄膜圧電共振子が得られる。

5       また、本発明の薄膜圧電共振子においては、下部電極が、体心立方構造で(110)回折ピークのロッキング・カーブ半値値(FWHM)が4.5°未満となる第1の金属層と面心立方構造の第2の金属層との積層を含む2以上の金属層から構成されていると共に、窒化アルミニウム(AlN)薄膜がc軸配向を示し、(0002)面の回折ピークのロッキング・  
10       カーブ半値幅(FWHM)が3.3°未満である場合に、薄膜圧電共振子の性能が一層向上する。

      また、本発明の薄膜圧電共振子においては、下部電極、圧電体薄膜および上部電極がこの順に積層された積層構造体、または下部電極、第1の圧電体薄膜、内部電極、第2の圧電体膜および上部電極がこの順に積層され  
15       た積層構造体に、振動空間に面する位置にて少なくとも一層の酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )および/または窒化シリコン( $\text{SiN}_x$ )を主成分とする絶縁層を形成することにより、薄膜圧電共振子の周波数温度係数などの特性を更に改善することができる。

## 20       図面の簡単な説明

      図1は、本発明による圧電薄膜共振子の実施形態を示す模式的平面図である。

      図2は、図1のX-X断面図である。

      図3は、本発明による圧電薄膜共振子の実施形態を示す模式的平面図である。  
25       

      図4は、図3のX-X断面図である。

      図5は、本発明による薄膜圧電共振子の実施形態を示す模式的平面図である。

      図6は、図5のX-X断面図である。

30       図7は、本発明による薄膜圧電共振子の実施形態を示す模式的平面図で

ある。

図8は、図7のX-X断面図である。

図9は、本発明による薄膜圧電共振子の実施形態を示す模式的平面図である。

5 図10は、図9のX-X断面図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下に、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

図1は本発明による圧電薄膜共振子の実施形態を示す模式的平面図であり、図2はそのX-X断面図である。これらの図において、圧電薄膜共振子11は基板12、該基板12の上面上に形成された絶縁体層からなる下地膜13及び該下地膜13の上面上に形成された圧電積層構造体14を有する。圧電積層構造体14は、下地膜13の上面上に形成された下部電極15、該下部電極15の一部を覆うようにして下地膜13の上面上に形成された圧電体膜16および該圧電体膜16の上面上に形成された上部電極17からなる。基板12には、空隙を形成するビアホール20が形成されている。下地膜13の一部はビアホール20に向けて露出している。この下地膜13の露出部分、及びこれに対応する圧電積層構造体14の部分が振動部（振動ダイヤフラム）21を構成する。また、下部電極15及び上部電極17は、振動部21に対応する領域内に形成された主体部15a、17aと、該主体部15a、17aと外部回路との接続のための端子部15b、17bを有する。端子部15b、17bは振動部21に対応する領域外に位置する。

基板12としては、Si(100)単結晶などの単結晶、または、Si単結晶などの基材の表面にシリコン、ダイヤモンドその他の多結晶膜を形成したものをを用いることができる。基板12としては、その他の半導体更には絶縁体を用いることも可能である。基板12のビアホール20の形成方法としては、基板下面側からの異方性エッチング法が例示される。尚、基板12に形成される空隙は、ビアホール20によるものには限定されず、振動部21の振動を許容するものであればよく、該振動部21に対応

する基板上面領域に形成した凹部であってもよい。

下地膜13としては、たとえば酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )を主成分とする誘電体膜、窒化シリコン( $\text{SiN}_x$ )を主成分とする誘電体膜及び酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜を用いることができる。この下地膜13の材質について、主成分とは、誘電体膜中の含有量が50当量%以上である成分を指す。誘電体膜は単層からなるものであってもよいし、密着性を高めるための層などを付加した複数層からなるものであってもよい。下地膜13の厚さは、例えば0.2~2.0 $\mu\text{m}$ である。下地膜13の形成方法としては、シリコンからなる基板12の表面の熱酸化法やCVD法が例示される。

下部電極15及び上部電極17としては、モリブデン(Mo)、タングステン(W)、白金(Pt)とチタン(Ti)との積層膜(Pt/Ti)、アルミニウム(Al)、金(Au)とクロム(Cr)との積層膜(Au/Cr)、金(Au)とチタン(Ti)との積層膜(Au/Ti)などを用いることができる。熱弾性損失が低いことから、Moが好適である。例えば、Moの熱弾性損失はAlの約1/56である。Mo単体だけでなく、Mo合金または適当な密着層の上にMo電極を形成して使用することも可能である。下部電極15及び上部電極17の厚さは、例えば50~200nmである。下部電極15及び上部電極17の形成方法としては、スパッタ法または蒸着法が例示され、更に必要に応じて所要の形状へのパターンニングのためにフォトリソグラフィ技術が用いられる。

下部電極15の主体部15aを基板12の上面におけるビアホール20の矩形状開口の2辺を通して該開口内へと延出させた場合には、下部電極15による振動部21の保持が可能となるので、下地膜13を省略することも可能である。

圧電体膜16は、AlN膜からなり、その厚さは例えば0.3~3.0 $\mu\text{m}$ である。圧電体膜16のAlN膜は、カルシウム、ストロンチウム及びバリウムなどのアルカリ土類金属またはイットリウム、ユーロピウム、ガドリニウム、ディスプロシウム、エルビウム、イッテルビウムなどの希土類金属を第三成分として含有している。圧電体膜16の形成方法として

は、反応性スパッタ法が例示され、更に必要に応じて所要の形状へのパターンニングのためにフォトリソグラフィ技術が用いられる。

一般に圧電材料の圧電特性は、結晶の分極の大きさや分極軸の配列などに依存する。本発明の圧電薄膜共振子の圧電体膜においても、その圧電性は薄膜を構成する結晶のドメイン構造、配向性及び結晶性などの結晶性状に依存すると考えられる。本明細書において単一配向膜とは、基板表面と平行に目的とする結晶面が揃っている結晶化膜のことを意味する。例えば、(0001)単一配向膜は、膜面と平行に(0001)面が成長している膜を意味する。具体的には、ディフラクトメータ法によるX線回折測定を行った場合に、A1N結晶に起因した目的とする回折面以外の反射ピークがほとんど検出できないものを意味する。例えば、(000L)単一配向膜、即ち、C軸単一配向膜は、 $\theta - 2\theta$ 回転のX線回折測定で(000L)面以外の反射強度が(000L)面反射の最大ピーク強度の5%未満、好ましくは2%未満、さらに好ましくは検出限界以下のものである。なお(000L)面は、(0001)系列の面、即ち(0001)面、(0002)面及び(0004)面などの等価な面を総称する表示である。

本発明者らは、図1及び図2に示す構成のFBARにおいて、その共振特性がA1N薄膜の組成や結晶性にどのように依存するのかについて検討した。その結果、A1N薄膜からなる圧電体膜を有するFBARの共振特性が、A1N薄膜の組成や結晶性に大きく依存することを見出した。即ち、良好な共振特性を得るためには、A1N薄膜にカルシウム、ストロンチウム、バリウムなどのアルカリ土類金属、またはイットリウム、ユーロピウム、ガドリニウム、ディスプロシウム、エルビウム、イッテルビウムなどの希土類金属の添加が有効である。その含有量は、好ましくは0.2~3.0原子%(Atom%)である。0.2Atom%未満の場合には第三成分添加による共振特性改善の効果が低下し、一方3.0Atom%を越える場合には結晶粒界に偏析する第三成分の量が多くなり音響波を散乱させ共振特性の劣化が生ずる傾向にある。

アルカリ土類金属または希土類金属を含有するA1N薄膜は、C軸配向

を示し、X線回折法により測定した(0002)面の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)は $3.0^\circ$ 以下である。ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が $3.0^\circ$ を超えると、電気機械結合係数 $k_t^2$ が低下し、共振特性が劣化する傾向にある。さらに、ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が過度に大きくなると、下部電極端子部15bと上部電極端子部17bとの間に電流リークが発生しやすくなる傾向にある。

アルカリ土類金属または希土類元素を含有するAlN薄膜のC軸長は $0.4978 \sim 0.4993 \text{ nm}$ であることが好ましい。C軸長が $0.4978$ より小さくても、 $0.4993 \text{ nm}$ より大きくても、電気機械結合係数 $k_t^2$ 及び音響的品質係数(Q値)が低下し、共振特性が悪化する傾向にある。また、ディフラクトメータ法により測定した(0002)面のX線回折ピークの $2\theta$ 回転角の半値幅(FWHM)は $0.6^\circ$ 以下であることが好ましい。 $2\theta$ 回転角の半値幅(FWHM)が $0.6^\circ$ を超えると、やはり、電気機械結合係数 $k_t^2$ 及び音響的品質係数(Q値)が低下し、共振特性が悪化する傾向にある。

図3は本発明による圧電薄膜共振子の更に別の実施形態を示す模式的平面図であり、図4はそのX-X断面図である。これらの図において、上記図1及び図2におけると同様の機能を有する部材には同一の符号が付されている。

本実施形態では、下部電極15は矩形またはそれに近い形状をなしており、上部電極17は、第1の電極部17Aと第2の電極部17Bとからなる。これら電極部17A、17Bはそれぞれ主体部17Aa、17Baと端子部17Ab、17Bbとを有する。主体部17Aa、17Baは振動部21に対応する領域内に位置しており、端子部17Ab、17Bbは振動部21に対応する領域以外の領域に位置している。

本実施形態では、上部電極17のうち的一方(例えば第2の電極部17B)と下部電極15との間に入力電圧を印加し、上部電極17のうちの他方(例えば第1の電極部17A)と下部電極15との間の電圧を出力電圧として取り出すことができるので、スプリアスを十分に低減することができる。また、これ自体をフィルターとして使用することができる。このよう

な構成のフィルターを通過帯域フィルターの構成要素として使用することにより、素子内配線が不要となるので該配線に起因する損失がなく、阻止帯域の減衰特性が良好となり、フィルターとしての周波数応答性が向上する。

- 5 次、本発明の別の実施形態を説明する。この実施形態では、図1及び図2に示される様な構成を有しており、但し、圧電体膜16は、AlNとGa<sub>2</sub>Nとの固溶体またはAlNとInNとの固溶体からなり、その厚さは例えば0.3～3.0μmである。他の構成要素は、図1及び図2に関し説明したものと同様である。このような圧電体膜16の形成方法として
- 10 は、反応性スパッタ法が例示され、更に必要に応じて所要の形状へのパターンニングのためにフォトリソグラフィ技術が用いられる。

- 一般に圧電材料の圧電特性は、結晶の分極の大きさや分極軸の配列などに依存する。本発明の圧電薄膜共振子の圧電体膜においても、その圧電性は薄膜を構成する結晶のドメイン構造、配向性及び結晶性などの結晶性状
- 15 に依存すると考えられる。本明細書において単一配向膜とは、基板表面と平行に目的とする結晶面が揃っている結晶化膜のことを意味する。例えば、(0001)単一配向膜は、膜面と平行に(0001)面が成長している膜を意味する。具体的には、ディフラクトメータ法によるX線回折測定を行った場合に、一般式 $Al_{1-x}Ga_xN$ （但し、 $0 < x < 1$ ）で表さ
- 20 れるAlNとGa<sub>2</sub>Nとの固溶体の結晶または一般式 $Al_{1-y}In_yN$ （但し、 $0 < y < 1$ ）で表されるAlNとInNとの固溶体の結晶に起因した目的とする回折面以外の反射ピークがほとんど検出できないものを意味する。例えば、(000L)単一配向膜、即ち、C軸単一配向膜は、 $\theta - 2\theta$ 回転のX線回折測定で(000L)面以外の反射強度が(000L)面
- 25 反射の最大ピーク強度の5%未満、好ましくは2%未満、さらに好ましくは検出限界以下のものである。なお(000L)面は、(0001)系列の面、即ち(0001)面、(0002)面及び(0004)面などの等価な面を総称する表示である。

- 本発明者らは、図1及び図2に示す構成のFBARにおいて、その共振
- 30 特性がAlN系薄膜の組成や結晶性にどのように依存するのかについて検

討した。その結果、AlN系薄膜からなる圧電体膜を有するFBARの共振特性が、AlN系薄膜の組成や結晶性に大きく依存することを見出した。即ち、圧電体膜として、一般式 $Al_{1-x}Ga_xN$ （但し、 $0 < x < 1$ ）で表される窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体、または

5  $Al_{1-y}In_yN$ （但し、 $0 < y < 1$ ）で表される窒化アルミニウムと窒化インジウムとの固溶体を使用して、電極層の金属結晶との格子整合性を高めることが、圧電薄膜共振子やこれを用いた圧電薄膜フィルターの性能を向上させるために有効である。この性能向上のためには、 $0 < x < 0.5$ 、 $0 < y < 0.3$ であるのが好ましく、更に好ましくは $0.03 < x < 0.35$ 、 $0.01 < y < 0.15$ である。

10

前記の電極材料のうち、MoまたはWの結晶は、空間群 $I_{m-3m}$ で表される体心立方格子に属し、PtまたはAuの結晶は空間群 $F_{m-3m}$ で表される面心立方格子に属する。スパッター法または蒸着法により形成した体心立方格子のMoやWの結晶は $(110)$ 配向を示し、膜面と平行に $(110)$ 面が成長している。一方、スパッター法または蒸着法により形成した面心立方格子のPtやAuの結晶は $(111)$ 配向を示し、膜面と平行に $(111)$ 面が成長している。Mo結晶の格子定数（a軸長）は $0.3147\text{ nm}$ 前後、 $(110)$ 面間隔は $0.2225\text{ nm}$ 前後の値であり、W結晶の格子定数（a軸長）は $0.3165\text{ nm}$ 前後、 $(110)$ 面間隔は

15  $0.2238\text{ nm}$ 前後の値である。Pt結晶の格子定数（a軸長）は $0.3923\text{ nm}$ 前後、 $(111)$ 面上における $(110)$ 面間隔は $0.2774\text{ nm}$ 前後の値であり、Au結晶の格子定数（a軸長）は $0.4079\text{ nm}$ 前後、 $(111)$ 面上における $(110)$ 面間隔は $0.2884\text{ nm}$ 前後の値である。

20

本発明においては、電極層に使用する金属が体心立方格子のMo結晶またはW結晶などの場合には、これらの結晶の格子定数（即ち $(100)$ 面間隔）に注目し、電極金属結晶の格子定数（a軸長） $L_{M100}$ と前記の $Al_{1-x}Ga_xN$ （但し、 $0 < x < 1$ ）系固溶体結晶または $Al_{1-y}In_yN$ （但し、 $0 < y < 1$ ）系固溶体結晶のa軸長 $L_{Pza}$ との格子長のミスマッチを、 $100 * (L_{M100} - L_{Pza}) / L_{M100} [\%]$ というパラ

25

30

5     メーターで表す。一方、電極層に使用する金属が面心立方格子のPt結晶  
 またはAu結晶などの場合には、これらの結晶の(111)面上における  
 (110)面間隔に注目し、電極金属結晶の(111)面上における(1  
 10     10)面間隔 $L_{M110}$ と前記の $Al_{1-x}Ga_xN$ (但し、 $0 < x < 1$ )系固  
 溶体結晶または $Al_{1-y}In_yN$ (但し、 $0 < y < 1$ )系固溶体結晶の  
 (10-10)面間隔 $L_{PZ1}$ との面間隔のミスマッチを、 $100 * (L_{M110} - L_{PZ1}) / L_{M110} [\%]$ というパラメーターで表す。体心立方格子  
 のMo結晶またはW結晶などの(110)面における原子配列と $Al_{1-x}Ga_xN$ (但し、 $0 < x < 1$ )系固溶体結晶または $Al_{1-y}In_yN$ (但  
 15     し、 $0 < y < 1$ )系固溶体結晶の(0001)面における原子配列との整  
 合性はあまり良くないので、Mo結晶またはW結晶などと $Al_{1-x}Ga_xN$   
 N(但し、 $0 < x < 1$ )系固溶体結晶または $Al_{1-y}In_yN$ (但し、  
 $0 < y < 1$ )系固溶体結晶との格子長のミスマッチ $100 * (L_{M100} -$   
 $L_{PZa}) / L_{M100} [\%]$ は1.0%以下であることが好ましい。これに対  
 15     して、面心立方格子のPt結晶またはAu結晶などの(111)面におけ  
 る原子配列と $Al_{1-x}Ga_xN$ (但し、 $0 < x < 1$ )系固溶体結晶または  
 $Al_{1-y}In_yN$ (但し、 $0 < y < 1$ )系固溶体結晶の(0001)面  
 における原子配列との整合性は比較的良好であるため、Pt結晶またはAu  
 20     結晶などと $Al_{1-x}Ga_xN$ (但し、 $0 < x < 1$ )系固溶体結晶または  
 $Al_{1-y}In_yN$ (但し、 $0 < y < 1$ )系固溶体結晶との格子長のミス  
 マッチ $100 * (L_{M110} - L_{PZ1}) / L_{M110}$ は2.6%以下であることが  
 好ましい。Mo結晶やW結晶などの体心立方格子に関する格子長のミス  
 マッチ $100 * (L_{M100} - L_{PZa}) / L_{M100}$ が1.0%を超えると、これ  
 25     らの金属結晶と $Al_{1-x}Ga_xN$ (但し、 $0 < x < 1$ )系固溶体または  
 $Al_{1-y}In_yN$ (但し、 $0 < y < 1$ )系固溶体との格子整合性が悪くな  
 り、これらのAlN-GaN系またはAlN-InN系の圧電体薄膜の配  
 向性及び結晶性が悪くなり、その結果、電気機械結合係数 $k_t^2$ 及び音響的  
 品質係数(Q値)が小さくなり、圧電薄膜共振子や薄膜フィルターとして  
 の性能が悪化する傾向にある。同様に、Pt結晶やAu結晶などの面心立  
 30     方格子に関する格子長のミスマッチ $100 * (L_{M110} - L_{PZ1}) / L_{M110}$

が2.6%を超えると、これらの金属結晶と $Al_{1-x}Ga_xN$ （但し、 $0 < x < 1$ ）系固溶体または $Al_{1-y}In_yN$ （但し、 $0 < y < 1$ ）系固溶体との格子整合性が悪くなり、これらの $AlN-GaN$ 系または $AlN-InN$ 系圧電体薄膜の配向性及び結晶性が悪くなり、その結果、電気機械結合係数 $k_t^2$ 及び音響的品質係数（Q値）が小さくなり、圧電薄膜共振子や薄膜フィルターとしての性能が悪化する傾向にある。

$Al_{1-x}Ga_xN$ （但し、 $0 < x < 1$ ）系固溶体薄膜または $Al_{1-y}In_yN$ （但し、 $0 < y < 1$ ）系固溶体薄膜はc軸配向を示し、X線回折法により測定した（0002）面の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）は $3.0^\circ$ 以下であるのが好ましい。ロッキング・カーブ半値幅（FWHM）が $3.0^\circ$ を超えると、電気機械結合係数 $k_t^2$ が低下し、共振特性が悪化する傾向にある。さらに、ロッキング・カーブ半値幅（FWHM）が過度に大きくなると、下部電極端子部15bと上部電極端子部17bとの間に電流リークが発生しやすくなる傾向にある。

次に、本発明の別の実施形態を説明する。この実施形態では、図3及び図4に示される様な構成を有しており、但し、圧電体膜16は、上記の様な $AlN$ と $GaN$ との固溶体または $AlN$ と $InN$ との固溶体からなり、その厚さは例えば $0.3 \sim 3.0 \mu m$ である。他の構成要素は、図3及び図4に関し説明したものと同様である。

図5は本発明による圧電薄膜共振子の更に別の実施形態を示す模式的平面図であり、図6はそのX-X断面図である。これらの図において、上記図1～図4におけると同様の機能を有する部材には同一の符号が付されている。

本実施形態は、上記実施形態の圧電積層構造体を2つ積層したものに相当する圧電積層構造体を有する積層薄膜バルク音響共振子およびフィルター（Stacked Thin Film Bulk Acoustic Resonators and FiltersまたはStacked Thin Film Bulk Acoustic Wave Resonators and Filters）である。即ち、絶縁体層13上に下部電極15、第1の圧電体膜16-1、内部電極17'、第2の

圧電体膜 16-2 及び上部電極 18 がこの順に積層形成されている。内部電極 17' は、第 1 の圧電体膜 16-1 に対する上部電極としての機能と第 2 の圧電体膜 16-2 に対する下部電極としての機能とを有する。第 1 の圧電体膜 16-1 及び第 2 の圧電体膜 16-2 は、上記の様な AlN と GaN との固溶体または AlN と InN との固溶体からなり、その厚さは例えば 0.3 ~ 3.0  $\mu\text{m}$  である。

本実施形態では、下部電極 15 と内部電極 17' との間に入力電圧を印加し、該内部電極 17' と上部電極 18 との間の電圧を出力電圧として取り出すことができるので、これ自体を多極型フィルターとして使用することができる。この多極型フィルターを通過帯域フィルターの構成要素として使用することにより、阻止帯域の減衰特性が良好となり、フィルターとしての周波数応答性能が向上する。

次に、本発明の更に別の実施形態を説明する。図 7 は本発明による薄膜圧電共振子の実施形態を示す模式的平面図であり、図 8 はその X-X 断面図である。これらの図において、薄膜圧電共振子 11 は基板 12、該基板 12 の上面上に形成された絶縁体層 13 および該絶縁体層 13 の上面上に形成された圧電積層構造体 14 を有する。圧電積層構造体 14 は、絶縁体層 13 の上面上に形成された下部電極 15、該下部電極 15 の一部を覆うようにして絶縁体層 13 の上面上に形成された圧電体薄膜 16 および該圧電体薄膜 16 の上面上に形成された上部電極 17 からなる。基板 12 には、空隙を形成するビアホール 20 が形成されている。絶縁体層 13 の一部はビアホール 20 に向けて露出している。この絶縁体層 13 の露出部分、及びこれに対応する圧電積層構造体 14 の部分が振動部（振動ダイヤフラム）21 を構成する。また、下部電極 15 及び上部電極 17 は、振動部 21 に対応する領域内に形成された主体部 15a、17a と、該主体部 15a、17a と外部回路との接続のための端子部 15b、17b を有する。端子部 15b、17b は振動部 21 に対応する領域外に位置する。

基板 12 としては、Si (100) 単結晶などの単結晶、または Si 単結晶などの基材の表面にシリコン、ダイヤモンドその他の多結晶膜を形成したものを用いることができる。基板 12 としては、その他の半導体さら

## 24

には絶縁体を用いることも可能である。基板12のビアホール20の形成方法としては、基板下面側からの異方性エッチング法が例示される。なお、基板12に形成される空隙は、ビアホール20によるものには限定されず、振動部21の振動を許容するものであればよく、該振動部21に対応する基板上面領域に形成した凹部であってもよい。

絶縁体層13としては、例えば酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )を主成分とする誘電体膜、窒化シリコン( $\text{SiN}_x$ )を主成分とする誘電体膜、および酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜を用いることができる。この絶縁体層13の材質について、主成分とは、層中の含有量が50当量%以上である成分を指す(他の層の材質についても同様)。誘電体膜は単層からなるものであってもよいし、密着性を高めるための層などを付加した複数層からなるものであってもよい。絶縁体層13の厚さは、例えば2.0 $\mu\text{m}$ 未満、好ましくは0.5 $\mu\text{m}$ 以下である。絶縁体層13の形成方法としては、シリコンから成る基板12の表面の熱酸化法やCVD法が例示される。また、本発明においては、エッチングにより、振動部21に対応する領域の絶縁体層13を総て除去して、下部電極15がビアホール20に向けて露出した構造を採用することもできる。このように、振動部21に対応する領域の絶縁体層13を総て除去することにより、共振周波数の温度特性は若干悪化するものの、音響的品質係数(Q値)が向上するという利点がある。

下部電極15は、体心立方構造を有する第1の金属層と、面心立方構造を有する第2の金属層と、更に必要に応じて第2の金属層と基板12との間に形成される密着金属層とを積層することにより構成されており、その厚さは例えば50~300nmである。圧電体薄膜16はAlNから成り、その厚さは例えば0.5~3.0 $\mu\text{m}$ である。上部電極17は、例えば、モリブデン、タングステン、ニオブ、アルミニウム、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、およびアルミニウムを主成分とする合金のうちから選ばれる金属を含んで構成されている。あるいは、上部電極17は、例えば、モリブデン、タングステン、ニオブ、モリブデンを主成分とする合金、タングステ

ンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、イリジウム、白金、金、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、銀を主成分とする合金、マグネシウム、アルミニウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属からなる金属層の2種類以上の積層を含んで構成されている。上部電極17の厚さは例えば50~300nmである。

一般に圧電材料の圧電特性は、結晶の分極の大きさ、分極軸の配列などに依存する。本発明で用いる圧電薄膜においても、その圧電性は薄膜を構成する結晶のドメイン構造、配向性、結晶性などの結晶性状に依存すると考えられる。本明細書において単一配向膜とは、基板表面と平行に目的とする結晶面が揃っている結晶化膜のことを意味する。例えば、(0001)単一配向膜は、膜面と平行に(0001)面が成長している膜を意味する。具体的には、ディフラクトメーター法によるX線回折測定を行った場合に、A1N結晶に起因した目的とする回折面以外の反射ピークがほとんど検出できないものを意味する。例えば、(000L)単一配向膜、即ち、c軸単一配向膜は、 $\theta-2\theta$ 回転のX線回折測定で(000L)面以外の反射強度が(000L)面反射の最大ピーク強度の5%未満、好ましくは2%未満、さらに好ましくは検出限界以下のものである。なお、(000L)面は、(0001)系列の面、即ち、(0001)面、(0002)面、(0004)面などの等価な面を総称する表示である。

本発明者らは、図7及び図8に示す構成のFBARにおいて、その共振特性が、電極を構成する多層金属薄膜の材質、弾性率、配向性、結晶性などの性状とA1N薄膜の配向性、結晶性などの性状との両方にどのように依存するのかについて検討した。図示されているFBARでは、下部電極15は、必要に応じて基板12と接して形成される密着金属層、面心立方

構造の第2の金属層および体心立方構造の第1の金属層をこの順に積層することにより構成されたものである。

下部電極15として、スパッター法または蒸着法により、密着金属層、面心立方構造の第2の金属層、および体心立方構造の第1の金属層を順に形成した後、ドライエッチングによりこれらの金属層を所定の形状にパターン化した。A1N薄膜16は、下部電極15を形成した基板12の上面に反応性スパッター法により膜形成した後、フォトリソグラフィ技術を用いて、ビアホール20上の部分を除く領域の一部分をエッチング除去することにより、所定の形状に加工した。この際、A1N薄膜16と体心立方構造の第1の金属層との間に、下部電極15を構成する2以上の金属層全体の厚さの0.1倍以下の厚さの別の金属層または化合物層を形成しても、本発明の目的は達成される。上部電極17は、ビアホール20上に残ったA1N薄膜16の上に形成した。上部電極17は矩形に近い形状とした。

本発明者らは、高配向性の薄膜が容易に得られる面心立方構造の金属の薄膜と弾性率が $2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ 以上の高弾性金属の薄膜とを積層することにより、高弾性金属に由来する特定の回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が $4.5^\circ$ 未満である高配向性かつ高弾性の積層金属薄膜を形成し、この積層金属薄膜上に窒化アルミニウム薄膜を成長させることで、(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が $3.3^\circ$ 未満である高配向性、高結晶性のc軸配向窒化アルミニウム薄膜を作製できることを見出した。

下部電極15に使用される体心立方構造(空間群 $I_{m-3m}$ )の第1の金属層として好適な材料は、モリブデン、タングステン、モリブデンを主成分とする合金、およびタングステンを主成分とする合金などであり、これらの材料は、(110)配向を示し、膜面と平行に(110)面が成長している。これらの材料は熱弾性損失が低いという特性を有する。モリブデン(Mo)を主成分とする合金としては、 $99.38\% \text{ Mo} - 0.5\% \text{ Ti} - 0.07\% \text{ Zr} - 0.05\% \text{ C}$ という組成を有するTZM合金、 $95\% \text{ Mo} - 5\% \text{ Re}$ 合金、 $90\% \text{ Mo} - 10\% \text{ W}$ 合金などがある。タングステ

ン(W)を主成分とする合金としては、95%W-5%Re合金、90%W-10%Mo合金、W-Cu-Ni合金などがある。

下部電極15に使用される面心立方構造(空間群 $F_{m-3m}$ )の第2の金属層として好適な材料は、イリジウム、白金、金、アルミニウム、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、銀を主成分とする合金などであり、これらの材料は(111)配向を示し、膜面と平行に(111)面が成長している。イリジウム(Ir)を主成分とする合金としてはIr-Pt合金などがある。白金(Pt)を主成分とする合金としてはPtとRh、Ir、Ru、Pd、Au、Ni、Wから選ばれる金属との合金などがある。金(Au)を主成分とする合金としてはAuとPd、Pt、Fe、Ni、Cu、Agから選ばれる金属との合金などがある。アルミニウム(Al)を主成分とする合金としては、Alに少量のSi、Cuを添加または固溶させたAl-Si-Cu系合金、Al-Si系合金、Alに少量のMo、Wを固溶させた合金、Al-Cu-Mg-Mn系合金、Al-Cu-Mg-Ni系合金、Al-Mg系合金、Al-Zn-Mg系合金などがある。銀(Ag)を主成分とする合金としては、AgとZn、Al、Au、Sn、Cuから選ばれる金属との合金などがある。

AlN薄膜16と体心立方構造の第1の金属層との間に形成される別の金属または化合物の層(界面層)として使用される好適な材料は、アルミニウム、シリコン、アルミニウムを主成分とする合金または化合物、およびシリコンを主成分とする合金または化合物などである。アルミニウム(Al)を主成分とする合金としては、前記のAl-Si-Cu系合金、Al-Si系合金、Al-Mo-W系合金、Al-Cu-Mg-Mn系合金、Al-Cu-Mg-Ni系合金、Al-Mg系合金、Al-Zn-Mg系合金などがある。アルミニウム(Al)を主成分とする化合物としては、 $AlO_xN_y$ などがある。シリコン(Si)を主成分とする化合物としては $Si_3N_4$ 、 $SiN_x$ 、 $SiO_xN_y$ 、 $SiO_2$ などがある。

基板12と面心立方構造の第2の金属層との間に形成される密着金属層として使用される好適な材料は、マグネシウム、チタン、バナジウム、ジ

ルコニウム、ハフニウム、ニオブ、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、  
5 クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金などである。マグネシウム (Mg) を主成分とする合金としてはMg-Al-Zn-Mn合金、Mg-Zn-Zr合金、Mg-希土類元素系合金などがある。チタン (Ti) を主成分とする合金としてはTiとAl、Mo、V、Cr、Mn、Feから選ばれる金属との合金などがある。ニオブ (Nb)  
10 を主成分とする合金としてはNb-Si-Ti-Fe合金などがある。タンタル (Ta) を主成分とする合金としてはTaとCr、Fe、Co、Ni、W、Ptから選ばれる金属との合金などがある。クロム (Cr) を主成分とする合金としてはCrとFe、Co、Ni、Moから選ばれる金属との合金などがある。ニッケル (Ni) を主成分とする合金としては  
15 NiとAl、Si、Cr、Mn、Fe、Cu、Moから選ばれる金属との合金などがある。

上部電極17に使用される金属として好適な材料は、モリブデン、タングステン、ニオブ、アルミニウム、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、およびアルミ  
20 ニウムを主成分とする合金などである。また、上部電極17として、モリブデン、タングステン、ニオブ、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、イリジウム、白金、金、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、銀を主成分とする合金、マグネシウム、アルミニ  
25 ウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケ  
30 ルを主成分とする合金から選ばれる金属からなる層を2層以上積層してな

る積層金属薄膜から構成されたものを使用することで、特性を安定化させることができる。

体心立方構造の第1の金属層と面心立方構造の第2の金属層との積層を含む2層以上の積層金属薄膜上に形成されたc軸配向の窒化アルミニウム薄膜のX線回折により測定した(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)は3.3°未満である。ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.3°以上であると、電気機械結合係数 $k_t^2$ と音響的品質係数(Q値)が低下し、共振特性が悪化するので好ましくない。さらに、ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が過度に大きくなると、下部電極端子部15bと下部電極端子部17bとの間に電流リークが発生しやすくなる傾向にある。

なお、図7及び図8に示す構成の薄膜圧電共振子では、圧電体薄膜の上下の電極に電界を印加して厚み方向に分極処理することでバルク波を励振させている。この為、下部電極を端子電極とすべく、下部電極の一部を露出させる必要がある。この構成は共振器としてしか利用できず、フィルターにするには、2個以上の素子を組合わせる必要がある。

本発明の別の実施形態は、図3及び図4に示される様な構成を有している。但し、基板12、絶縁体層13、ならびに圧電積層構造体14を構成する下部電極15、圧電体薄膜16および上部電極17(17A, 17B)は、上記図7及び図8に関し説明したものと同様である。

図9は本発明による薄膜圧電共振子のさらに別の実施形態を示す模式的平面図であり、図10はそのX-X断面図である。これらの図においては、上記図7及び図8におけると同様の機能を有する部材には同一の符号が付されている。

本実施形態は、図7および図8に記載の実施形態の圧電積層構造体を2つ積層したものに相当する圧電積層構造体を有する積層薄膜バルク音響共振子である。即ち、絶縁体層13上に下部電極15、第1の圧電体薄膜16-1、内部電極17'、第2の圧電体薄膜16-2および上部電極18がこの順に積層形成されている。内部電極17'は、第1の圧電体薄膜16-1に対する上部電極としての機能と第2の圧電体薄膜16-2に対す

る下部電極としての機能を有する。

本実施形態では、下部電極15と内部電極17'との間に入力電圧を印加し、該内部電極17'と上部電極18との間の電圧を出力電圧として取り出すことができるので、これ自体を多極型フィルターとして使用することができる。このような構成の多極型フィルターを通過帯域フィルターの構成要素として使用することにより、素子内配線が不要となるので該配線に起因する損失がなく、阻止帯域の減衰特性が良好となり、フィルターとしての周波数応答性が向上する。

以上のような薄膜圧電共振子（圧電薄膜共振子）において、マイクロ波プローバーを使用して測定したインピーダンス特性における共振周波数 $f_r$ および反共振周波数 $f_a$ と電気機械結合係数 $k_t^2$ の間には、以下の関係

$$k_t^2 = \phi_r / \tan(\phi_r)$$

$$\phi_r = (\pi/2) (f_r / f_a)$$

がある。

簡単のため、電気機械結合係数 $k_t^2$ として、次式

$$k_t^2 = 4.8 (f_a - f_r) / (f_a + f_r)$$

から算出したものを用いることができ、本明細書では、電気機械結合係数 $k_t^2$ の数値は、この式を用いて算出したものを採用している。

図1及び図2、図3及び図4、図5及び図6、図7及び図8、並びに図9及び図10のそれぞれに示した構成のFBARまたはSBARにおいて、2.0～3.0GHzの範囲における共振周波数と反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数 $k_t^2$ は4.5%以上たとえば4.5～6.5%であるのが好ましい。電気機械結合係数 $k_t^2$ が4.5%未満になると、作製したFBARまたはSBARの帯域幅が小さくなり、高周波域で使用する薄膜圧電共振子として実用に供することが難しくなる傾向にある。

以下に、実施例及び比較例を示し、本発明をさらに詳細に説明する。

#### [実施例1]

本実施例では、以下のようにして、図1、2に示されている構造の圧電

薄膜共振子を作製した。

即ち、厚さ $250\mu\text{m}$ の(100) Si基板12の上面及び下面に、低圧CVD法により厚さ $0.55\mu\text{m}$ の窒化シリコン( $\text{SiN}_x$ )層を形成した。上面側の $\text{SiN}_x$ 層を下地膜13とした。また、下面側の $\text{SiN}_x$ 層は基板12に対する後述のビアホール形成のためのマスクのパターンに形成した。

下地膜13の表面に、DCマグネトロンスパッタ法により厚さ $200\text{nm}$ のMo層を形成し、フォトリソグラフィによりパターン化して下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aは平面寸法 $140\times 160\mu\text{m}$ の矩形に近い形状とした。下部電極15が単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。このMo下部電極15上に、組成中に表1に示す第三成分を含む厚さ $1.55\mu\text{m}$ のAlN薄膜を形成した。AlN薄膜の形成は、適宜の組成を有するAl合金または金属Alの一部に希土類金属塊を埋め込んだものをターゲットとして用いた、反応性RFマグネトロンスパッタ法により行った。熱燐酸を使用した湿式エッチングにより、AlN薄膜を所定の形状にパターン化して圧電体膜16を形成した。その後、DCマグネトロンスパッタ法及びリフトオフ法を使用して、厚さ $200\text{nm}$ のMoからなる上部電極17を形成した。上部電極17の主体部17aは平面寸法 $140\times 160\mu\text{m}$ の矩形に近い形状とし、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。

次に、以上のようにして得られた構造体の上下部電極15、17及び圧電体膜16の形成されている側をPMMA樹脂で被覆し、Si基板12の下面に形成したパターン状 $\text{SiN}_x$ 層をマスクとして、振動部21に対応するSi基板12の部分をKOH水溶液でエッチング除去して、空隙となるビアホール20を形成した。Si基板12の上面に形成されたビアホール開口の寸法(振動部21の平面寸法)は、 $200\times 200\mu\text{m}$ であった。

以上の工程により得られた薄膜圧電共振子(FBAR)について、XPS分光法によりAlN圧電体膜16の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメータ法による薄膜X

線回折測定 ( $\theta - 2\theta$  回転による格子定数測定と  $K\alpha 1$  回折ピークの半値幅 (FWHM) 測定) と (0002) 回折ピークのロッキング・カーブ半値幅 (FWHM) 測定とを行った。XPS 分光法により測定した AlN 圧電体膜 16 の酸素含有量は 0.5 at% 未満であった。AlN 圧電体膜 16 の組成および結晶性の評価結果を表 1 に示す。

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバ及びネットワークアナライザを使用して、上記薄膜圧電共振子の電極端子 15b, 17b 間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_r$  及び音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_r$  及び音響的品質係数  $Q$  は表 2 に示す通りであった。

#### [実施例 2~4]

本実施例では、以下のようにして、図 1, 2 に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

即ち、厚さ  $300\mu\text{m}$  の Si 基板 12 の上面及び下面に、熱酸化法により厚さ  $0.2\sim 0.7\mu\text{m}$  の範囲内の酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ ) 層を形成した。上面側の  $\text{SiO}_2$  層を下地膜 13 とした。また、下面側の  $\text{SiO}_2$  層は基板 12 に対する後述のビアホール形成のためのマスクのパターンに形成した。

下地膜 13 の表面に、DC マグネトロンスパッタ法により厚さ  $15\text{nm}$  の Ti 層とその上の厚さ  $100\text{nm}$  の Pt 層との積層膜を形成し、フォトリソグラフィによりパターン化して下部電極 15 を形成した。下部電極 15 の主体部 15a は平面寸法  $140\times 160\mu\text{m}$  の矩形に近い形状とした。下部電極 15 が単一配向膜であることは、X 線回折測定により確認した。即ち、 $\theta - 2\theta$  回転ディフラクトメータ法において、(111) 系列の面以外の回折ピーク強度は検出限界以下、すなわち、(111) 面の最大ピーク強度の 0.5% 以下であった。この Pt/Ti 下部電極 15 上に、組成中に表 1 に示す第三成分を含む AlN 薄膜を形成した。AlN 薄膜の厚さは、表 2 に示す通りである。AlN 薄膜の形成は、適宜の組成を

有するA1合金または金属A1の一部に希土類金属塊を埋め込んだものをターゲットとして用いた、反応性RFマグネトロンスパッタ法により行った。熱燐酸を使用した湿式エッチングにより、A1N薄膜を所定の形状にパターン化して圧電体膜16を形成した。その後、DCマグネトロンスパッタ法及びリフトオフ法を使用して、厚さ100nmのA1からなる上部電極17を形成した。上部電極17の主体部17aは平面寸法140×160μmの矩形に近い形状とし、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。

次に、以上のようにして得られた構造体の上下部電極15、17及び圧電体膜16の形成されている側をPMMA樹脂で被覆し、Si基板12の下面に形成したパターン状SiO<sub>2</sub>層をマスクとして、振動部21に対応するSi基板12の部分をKOH水溶液でエッチングして、空隙となるビアホール20を形成した。Si基板12の上面に形成されたビアホール開口の寸法（振動部21の平面寸法）は、200×200μmであった。

以上の工程により得られた薄膜圧電共振子（FBAR）について、XPS分光法によりA1N圧電体膜16の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメータ法による薄膜X線回折測定（ $\theta-2\theta$ 回転による格子定数測定と $K\alpha 1$ 回折ピークの半値幅（FWHM）測定）と（0002）回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）測定とを行った。XPS分光法により測定したA1N圧電体膜16の酸素含有量は0.5atm%未満であった。A1N圧電体膜16の組成および結晶性の評価結果を表1に示す。

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバ及びネットワークアナライザを使用して、上記薄膜圧電共振子の電極端子15b、17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、周波数温度特性 $\tau_r$ 及び音響的品質係数Qを求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、周波数温度特性 $\tau_r$ 及び音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。

30 [実施例5]

本実施例では、以下のようにして、図3，4に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

上下部電極15，17の形状及び寸法を除いて実施例1と同様の工程を実施した。下部電極15は振動部21に対応する領域を含むように延びて  
5 いる平面寸法 $120 \times 280 \mu\text{m}$ の矩形状のものとし、上部電極17はそれぞれ平面寸法 $65 \times 85 \mu\text{m}$ の矩形に近い形状の主体部17Aa，17Baが間隔 $20 \mu\text{m}$ をおいて配置されたものとした。

以上の工程により得られた薄膜圧電共振子(FBAR)について、XPS分光法によりA1N圧電体膜16の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメータ法による薄膜X線回折測定( $\theta - 2\theta$ 回転による格子定数測定と $K\alpha 1$ 回折ピークの半値幅(FWHM)測定)と(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)測定とを行った。XPS分光法により測定したA1N圧電体膜16の酸素含有量は0.5atm%未満であった。A1N圧電体膜  
10 16の組成および結晶性の評価結果を表1に示す。

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバを使用して、上記薄膜圧電共振子の下部電極15の端子部(図3，4で左側の露出部分)を接地電極に接続し、上部電極17Aの端子部17Abから信号を入力し、上部電極17Bの端子部17Bbから出力信号を取り出して、ネットワークアナライザで信号の強度及び波形などを解析した。共振周波数  
20  $f_r$  および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、周波数温度特性 $\tau_f$ 及び音響的品質係数Qを求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、周波数温度特性 $\tau_f$ 及び音響的品質係数Qは表2に示す通りであった。

#### 25 [実施例6～8]

本実施例では、以下のようにして、図3，4に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

上下部電極15，17の形状及び寸法を除いて実施例2～4と同様の工程を実施した。下部電極15は振動部21に対応する領域を含むように延びている平面寸法 $150 \times 300 \mu\text{m}$ の矩形状のものとし、上部電極17  
30

はそれぞれ平面寸法  $70 \times 90 \mu\text{m}$  の矩形に近い形状の主体部 17Aa, 17Ba が間隔  $20 \mu\text{m}$  をおいて配置されたものとした。

5 以上の工程により得られた薄膜圧電共振子 (FBAR) について、XPS 分光法により A1N 圧電体膜 16 の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能 X 線回折装置を使用して、ディフラクトメータ法による薄膜 X 線回折測定 ( $\theta - 2\theta$  回転による格子定数測定と  $K\alpha 1$  回折ピークの半値幅 (FWHM) 測定) と (0002) 回折ピークのロックン・カーブ半値幅 (FWHM) 測定とを行った。XPS 分光法により測定した A1N 圧電体膜 16 の酸素含有量は 0.5 at% 未満であった。A1N 圧電体膜 16 の組成および結晶性の評価結果を表 1 に示す。

15 また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバを使用して、上記薄膜圧電共振子の下部電極 15 の端子部 (図 3, 4 で左側の露出部分) を接地電極に接続し、上部電極 17A の端子部 17Ab から信号を入力し、上部電極 17B の端子部 17Bb から出力信号を取り出して、ネットワークアナライザで信号の強度及び波形などを解析した。共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_r$  及び音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_r$  及び音響的品質係数  $Q$  は表 2 に示す通りであった。

20 [比較例 1, 2]

A1N 薄膜形成時に第三成分であるアルカリ土類金属や希土類金属を添加しないこと以外は、それぞれ実施例 1, 5 と同様の工程を実行して、図 1, 2 に示されている構造の圧電薄膜共振子または図 3, 4 に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

25 以上の工程により得られた薄膜圧電共振子 (FBAR) について、XPS 分光法により A1N 圧電体膜の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能 X 線回折装置を使用して、ディフラクトメータ法による薄膜 X 線回折測定 ( $\theta - 2\theta$  回転による格子定数測定と  $K\alpha 1$  回折ピークの半値幅 (FWHM) 測定) と (0002) 回折ピークのロックン・カーブ半値幅 (FWHM) 測定とを行った。XPS 分光法により測定した A1N 薄膜

30

の酸素含有量は比較例 1, 2 とも約 2.5 atm% であった。実施例 1 ~ 8 と同様の操作で分析評価を行ったが、A1N 薄膜の品質が悪い為に、XPS 分析までに膜が酸化されて酸素含有量が増加した可能性もある。A1N 薄膜の組成および結晶性の評価結果を表 1 に示す。

5       また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバ及びネットワークアナライザを使用して、それぞれ実施例 1, 5 と同様にしてインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_r$  及び音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_r$  及び音響的品質係数  $Q$  は  
10       表 2 に示す通りであった。

尚、表 1 には、各実施例におけるそれぞれの組成の (0001) 配向 A1N 結晶の C 軸格子定数の測定結果が記載されている。薄膜においては、冷却過程での Si 基板との熱膨張係数差、下部電極との格子のミスマッチによる残留応力、A1N 結晶内部の格子欠陥の存在などにより、バルクの A1N 結晶とは異なる格子定数を示す。  
15

以上の結果から、アルカリ土類金属または希土類金属を含有する窒化アルミニウム薄膜を用いた FBAR は従来にない高特性を示すことが明らかとなった。これは、アルカリ土類金属または希土類金属を添加することにより、圧電体膜である窒化アルミニウムの結晶格子に固溶する酸素濃度を低減でき、配向性、結晶性ならびに粒界強度が改善されることに基づくものと考えられる。このアルカリ土類金属または希土類金属を含有する窒化アルミニウム薄膜を共振子やフィルター等に適用した場合には、音響的品質係数 ( $Q$  値) や周波数温度特性などの性能が向上する。  
20

25       [実施例 9]

本実施例では、以下のようにして、図 1, 2 に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

即ち、熱酸化法により、厚さ  $350\mu\text{m}$  の (100) Si 基板 12 の上下両面に厚さ  $1.1\mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  層を形成した後、上面側の  $\text{SiO}_2$  層のみをエッチングして、上面の  $\text{SiO}_2$  層の厚さを  $0.28\mu\text{m}$  に調整し  
30

SiO<sub>2</sub> からなる絶縁体層 13 を形成した。この絶縁体層 13 の上面に、DC マグネトロンスパッター法により厚さ 110 nm の Pt 電極層 (Ti 密着層を含む) を形成し、フォトリソグラフィーによりパターン化して Pt/Ti 下部電極 15 を形成した。下部電極 15 の主体部 15a は、平面寸法 140 × 160 μm の矩形に近い形状とした。下部電極 15 が (111) 配向膜即ち単一配向膜であることは、X 線回折測定により確認した。この Pt/Ti 下部電極 15 上に、適宜の組成を有する Al-In 合金をターゲットとして、反応性 RF マグネトロンスパッター法により、表 1 に記載の条件で、同表に示す組成の Al<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N 系固溶体薄膜 (圧電体膜) を形成した。熱リン酸を使用した湿式エッチングにより、Al<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N 系固溶体薄膜を所定の形状にパターン化して圧電体膜 16 を形成した。その後、DC マグネトロンスパッター法とリフトオフ法を使用して、厚さ 110 nm で主体部 17a の平面寸法 140 × 160 μm の矩形に近い形状の Pt/Ti 上部電極 17 を形成した。上部電極 17 の主体部 17a は、下部電極主体部 15a に対応する位置に配置した。次に、以上のようにして得られた構造体の下部電極 15 と上部電極 17 と圧電体膜 16 との形成されている側をプロテクトワックスで被覆し、Si 基板 12 の下面に形成された厚さ 1.1 μm の SiO<sub>2</sub> 層をパターニングして形成したマスクを用いて、振動部 21 に対応する Si 基板 12 の部分を KOH 水溶液でエッチング除去して、空隙となるビアホール 20 を形成した。

上記の工程によって製造された薄膜圧電共振子 (FBAR) について、XPS 分光法により Al<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N 系固溶体薄膜の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能 X 線回折装置を使用して、ディフラクトメーター法による格子定数測定と (0002) 回折ピークのロッキング・カーブ半値幅 (FWHM) 測定を行った。Al<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N 系固溶体薄膜の組成および結晶性の評価結果を表 3 に示す。

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波ブローバーとネットワークアナライザーを使用して、上記薄膜圧電共振子の電極端子 15b, 17b 間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性

$\tau$ 、および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、周波数温度特性 $\tau$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表4に示す。

【実施例10】

- 5 本実施例では、以下のようにして、図1、2に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

即ち、熱酸化法により、厚さ $350\mu\text{m}$ の(100)Si基板12の上下両面に厚さ $1.1\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ 層を形成した後、上面側の $\text{SiO}_2$ 層のみをエッチングして、上面の $\text{SiO}_2$ 層の厚さを表4に記載の値に調整し $\text{SiO}_2$ からなる絶縁体層13を形成した。この絶縁体層13の上面に、DCマグネトロンスパッター法により表3に記載の厚さのPt電極層(Ti密着層を含む)を形成し、フォトリソグラフィーによりパターン化してPt/Ti下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aは、平面寸法 $140\times 160\mu\text{m}$ の矩形に近い形状とした。下部電極15が(111)配向膜即ち単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。このPt/Ti下部電極15上に、適宜の組成を有する $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x$ 合金をターゲットとして、反応性RFマグネトロンスパッター法により、表3に記載の条件で、同表に示す組成の $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ 系固溶体薄膜(圧電体膜)を形成した。熱燐酸を使用した湿式エッチングにより、 $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ 系固溶体薄膜を所定の形状にパターン化して圧電体膜16を形成した。その後、DCマグネトロンスパッター法とリフトオフ法を使用して、表3に記載の厚さで主体部17aの平面寸法 $140\times 160\mu\text{m}$ の矩形に近い形状のPt/Ti上部電極17を形成した。上部電極17の主体部17aは、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。次に、以上のようにして得られた構造体の下部電極15と上部電極17と圧電体膜16との形成されている側をプロテクトワックスで被覆し、Si基板12の下面に形成された厚さ $1.1\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ 層をパターンニングして形成したマスクを用いて、振動部21に対応するSi基板12の部分をKOH水溶液でエッチング除去して、空隙となるビアホール20を形成した。

10

15

20

25

30

上記の工程によって製造された薄膜圧電共振子（FBAR）について、XPS分光法により $Al_{1-x}Ga_xN$ 系固溶体薄膜（圧電体膜）の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメーター法による格子定数測定と（0002）回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）測定を行った。 $Al_{1-x}Ga_xN$ 系固溶体薄膜の組成および結晶性の評価結果を表3に示す。

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、上記薄膜圧電共振子の電極端子15b, 17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 $f_r$ および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、周波数温度特性 $\tau$ 、および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、周波数温度特性 $\tau$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表4に示す。

#### [実施例11]

本実施例では、以下のようにして、図3, 4に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

即ち、下部電極15は振動部21に対応する領域を含むように延びている平面寸法 $120 \times 280 \mu m$ の矩形状のものとされ、上部電極17はそれぞれ平面寸法 $65 \times 85 \mu m$ の矩形に近い形状の主体部17Aa, 17Baが間隔 $20 \mu m$ をおいて配置されたものとされ、更に絶縁体層13、下部電極15、上部電極17及び圧電体膜16の厚さ及び材質や組成が表3及び表4に示されているようにされたこと以外は、実施例10と同様の工程を実行した。

実施例10と同様にして、得られた固溶体薄膜（圧電体膜）の組成分析とX線回折測定を行った。固溶体薄膜の組成および結晶性の評価結果を表3に示す。

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーを使用して、上記薄膜圧電共振子の下部電極15の端子部（図3, 4で左側の露出部分）を接地電極に接続し、上部電極17Aの端子部17Abから信号を入力し、上部電極17Bの端子部17Bbから出力信号を取り出して、

ネットワークアナライザーで信号強度・波形などを解析した。共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau$  および音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau$  および音響的品質係数  $Q$  を表 4 に示す。

#### [実施例 12]

本実施例では、以下のようにして、図 1, 2 に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

即ち、絶縁体層 13、下部電極 15、上部電極 17 及び圧電体膜 16 の厚さ及び材質や組成が表 3 及び表 4 に示されているようにされたこと以外は、実施例 10 と同様の工程を実行した。ここで、絶縁体層 13 のための  $\text{SiN}_x$  層の形成は低圧 CVD 法により行った。

実施例 10 と同様にして、得られた固溶体薄膜（圧電体膜）の組成分析と X 線回折測定を行った。固溶体薄膜の組成および結晶性の評価結果を表 3 に示す。

また、実施例 10 と同様にして得た共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau$  および音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau$  および音響的品質係数  $Q$  を表 4 に示す。

#### [実施例 13]

本実施例では、以下のようにして、図 1, 2 に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

即ち、絶縁体層 13、下部電極 15、上部電極 17 及び圧電体膜 16 の厚さ及び材質や組成が表 3 及び表 4 に示されているようにされたこと以外は、実施例 12 と同様の工程を実行した。

実施例 12 と同様にして、得られた固溶体薄膜（圧電体膜）の組成分析と X 線回折測定を行った。固溶体薄膜の組成および結晶性の評価結果を表 3 に示す。

また、実施例 12 と同様にして得た共振周波数  $f_r$  および反共振周波数

$f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_r$  および音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_r$  および音響的品質係数  $Q$  を表 4 に示す。

5        [実施例 14]

本実施例では、以下のようにして、図 1, 2 に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

即ち、絶縁体層 13、下部電極 15、上部電極 17 及び圧電体膜 16 の厚さ及び材質や組成が表 3 及び表 4 に示されているようにされたこと以外、  
10        は、実施例 10 と同様の工程を実行した。

実施例 10 と同様にして、得られた固溶体薄膜（圧電体膜）の組成分析と X 線回折測定を行った。固溶体薄膜の組成および結晶性の評価結果を表 3 に示す。

また、実施例 10 と同様にして得た共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  
15         $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_r$  および音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_r$  および音響的品質係数  $Q$  を表 4 に示す。

         [実施例 15]

20        本実施例では、以下のようにして、図 3, 4 に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

即ち、絶縁体層 13、下部電極 15、上部電極 17 及び圧電体膜 16 の厚さ及び材質や組成が表 3 及び表 4 に示されているようにされたこと以外  
は、実施例 11 と同様の工程を実行した。

25        実施例 11 と同様にして、得られた固溶体薄膜（圧電体膜）の組成分析と X 線回折測定を行った。固溶体薄膜の組成および結晶性の評価結果を表 3 に示す。

また、実施例 11 と同様にして得た共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  
30         $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_r$  および音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波

数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_f$  および音響的品質係数  $Q$  を表4に示す。

【実施例16】

5 本実施例では、以下のようにして、図3，4に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17及び圧電体膜16の厚さ及び材質や組成が表3及び表4に示されているようにされたこと以外は、実施例11と同様の工程を実行した。

10 実施例11と同様にして、得られた固溶体薄膜（圧電体膜）の組成分析とX線回折測定を行った。固溶体薄膜の組成および結晶性の評価結果を表3に示す。

また、実施例11と同様にして得た共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_f$  および音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_f$  および音響的品質係数  $Q$  を表4に示す。

15

【実施例17】

本実施例では、以下のようにして、図1，2に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

20 即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17及び圧電体膜16の厚さ及び材質や組成が表3及び表4に示されているようにされたこと以外は、実施例12と同様の工程を実行した。

実施例12と同様にして、得られた固溶体薄膜（圧電体膜）の組成分析とX線回折測定を行った。固溶体薄膜の組成および結晶性の評価結果を表3に示す。

25

また、実施例12と同様にして得た共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_f$  および音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、周波数温度特性  $\tau_f$  および音響的品質係数  $Q$  を表4に示す。

30

## 〔実施例18〕

本実施例では、以下のようにして、図3，4に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

5 即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17及び圧電体膜16の厚さ及び材質や組成が表3及び表4に示されているようにされたこと以外は、実施例16と同様の工程を実行した。

実施例16と同様にして、得られた固溶体薄膜（圧電体膜）の組成分析とX線回折測定を行った。固溶体薄膜の組成および結晶性の評価結果を表3に示す。

10 また、実施例16と同様にして得た共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、周波数温度特性 $\tau_r$ 、および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、周波数温度特性 $\tau_r$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表4に示す。

## 15 〔比較例3，4〕

本比較例では、以下のようにして、図1，2または図3，4に示されている構造の圧電薄膜共振子を作製した。

20 即ち、 $Al_{1-x}Ga_xN$ 系固溶体薄膜または $Al_{1-y}In_yN$ 系固溶体薄膜に代えて反応性RFマグネトロンスパッター法によりAlN薄膜を形成し、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17及び圧電体膜16の形状、厚さ及び材質が表3及び表4に示されているようにされたこと以外は、実施例9または実施例16と同様の工程を実行した。

上記の工程によって製造された薄膜圧電共振子（FBAR）について、XPS分光法によりAlN薄膜の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメータ法による格子定数測定と（0002）回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）測定を行った。XPS分光法により測定したAlN薄膜の酸素含有量は、表3に示す通りであった。実施例9または実施例16と同様の操作で分析評価を行ったのであるが、AlN薄膜の品質が悪い為に、XPS分析まで  
30 に膜が酸化されて酸素含有量が増加した可能性もある。AlN薄膜の結晶

性の評価結果を表3に示す。

また、実施例9または実施例16と同様にして得た共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、周波数温度特性 $\tau_r$ 、および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み  
5 振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、周波数温度特性 $\tau_r$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表4に示す。

以上の結果から、圧電体膜として窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体からなる薄膜または窒化アルミニウムと窒化インジウムとの固溶体からなる薄膜を用いたFBARやSBARは従来にない高特性を示すことが明らかとなった。これは、このような圧電体膜を使用することにより、  
10 電極に使用される金属結晶に対する格子整合性が高められることに基づくものと考えられる。その結果、圧電体膜の配向性及び結晶性が改善され、この圧電体膜を共振子やフィルター等に適用した場合には、音響的品質係数（ $Q$ 値）や周波数温度特性などの性能を向上させることができる。

15 [実施例19]

本実施例では、以下のようにして、図7及び図8に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

即ち、熱酸化法により、厚さ $350\mu\text{m}$ の(100)Si基板12の上下両面に厚さ $1.1\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ 層を形成した後、上面側の $\text{SiO}_2$ 層  
20 のみをエッチングして、上面の $\text{SiO}_2$ 層の厚さを調整し、 $\text{SiO}_2$ から成り表7に記載の厚さ値を有する絶縁体層13を形成した。この絶縁体層13の上面に、DCマグネトロン・スパッター法により、厚さ $60\text{nm}$ のAu金属層（第2の金属層）および厚さ $150\text{nm}$ のMo金属層（第1の金属層）をこの順番に形成し、フォトリソグラフィによりパターン化し  
25 て、Mo/Au下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aは、平面寸法 $150\times 170\mu\text{m}$ の矩形に近い形状とした。Au金属層が(111)配向膜、即ち単一配向膜であり、Mo金属層が(110)配向膜、即ち単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。このMo/Au下部電極15を形成した基板12上に、純度5Nの金属A1を  
30 ターゲットとして、反応性RFマグネトロン・スパッター法により、表6

に記載の条件で、A1N薄膜を形成した。熱燐酸を使用した湿式エッチングにより、A1N薄膜を所定の形状にパターン化して、A1N圧電体薄膜16を形成した。

その後、DCマグネトロン・スパッター法とリフトオフ法を使用して、  
5 厚さ190nmで主体部17aの平面寸法130×150μmの矩形に近い形状のA1上部電極17を形成した。上部電極17の主体部17aは、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。次に、以上のようにして得られた構造体の下部電極15と上部電極17と圧電体薄膜16との形成されている側をプロテクトワックスで被覆し、Si基板12の下面に形成された厚さ1.1μmのSiO<sub>2</sub>層をパターンニングして形成したマスク  
10 を用いて、振動部21に対応するSi基板12の部分を加熱したKOH水溶液でエッチング除去して、空隙となるビアホール20を形成した。

上記の工程によって製造されたA1N薄膜-金属電極積層体について、XPS分光法により得られたA1N薄膜（圧電体薄膜）の組成分析を行う  
15 と共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメーター法による格子定数測定と（0002）回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）測定を行った。A1N薄膜の組成および結晶性の評価結果を表6に示す。

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、上記の薄膜圧電共振子（FBAR）の電  
20 極端子15b、17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 $f_r$ および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数Qを求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数Qを表7に示す。  
25

#### [実施例20]

本実施例では、以下のようにして、図7及び図8に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

即ち、実施例19と同様の操作により、SiO<sub>2</sub>から成る絶縁体層13  
30 を形成した。この絶縁体層13の上面に、DCマグネトロン・スパッター

法により表5に記載の厚さのTi金属層（密着金属層）、Pt金属層（第2の金属層）及びMo金属層（第1の金属層）をこの順番に形成し、フォトリソグラフィーによりパターン化して、Mo/Pt/Ti下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aは、平面寸法 $150 \times 170 \mu\text{m}$ の矩形に近い形状とした。Pt金属層が（111）単一配向膜であり、Mo金属層が（110）単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。このMo/Pt/Ti下部電極15を形成した基板12上に、実施例19と同様の操作により、圧電体薄膜16を形成した。その後、DCマグネトロンスパッター法とリフトオフ法を使用して、主体部17aの平面寸法 $130 \times 150 \mu\text{m}$ の矩形に近い形状のMo/Pt/Ti上部電極17を形成した。Ti金属層は密着金属層として使用され、Pt金属層は面心立方構造の第4の金属層として使用され、Mo金属層は体心立方構造の第3の金属層として使用され、これらの厚さは表5に記載された通りとした。上部電極17の主体部17aは、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。次に、実施例19と同様の操作により、空隙となるビアホール20を形成した。

上記の工程によって製造されたAlN薄膜-金属電極積層体について、XPS分光法により得られたAlN薄膜（圧電体薄膜）の組成分析を行うと共に、表面構造評価用多機能X線回折装置を使用して、ディフラクトメーター法による格子定数測定と（0002）回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）測定を行った。AlN薄膜の組成および結晶性の評価結果を表6に示す。

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーとネットワークアナライザーを使用して、上記の薄膜圧電共振子（FBAR）の電極端子15b、17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 $f_r$  および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$  および音響的品質係数Qを求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数Qを表7に示す。

30 [実施例21]

本実施例では、以下のようにして、図7及び図8に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

即ち、実施例19と同様の操作により、 $\text{SiO}_2$  から成る絶縁体層13を形成した。この絶縁体層13の上面に、DCマグネトロン・スパッター法により表5に記載の厚さのTi金属層（密着金属層）、Au金属層（第2の金属層）及びMo金属層（第1の金属層）をこの順番に形成し、フォトリソグラフィによりパターン化して、Mo/Au/Ti下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aは、平面寸法 $150 \times 170 \mu\text{m}$ の矩形に近い形状とした。Au金属層が(111)単一配向膜であり、Mo金属層が(110)単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。このMo/Au/Ti下部電極15を形成した基板12上に、実施例19と同様の操作により、圧電体薄膜16を形成した。その後、DCマグネトロンスパッター法とリフトオフ法を使用して、主体部17aの平面寸法 $130 \times 150 \mu\text{m}$ の矩形に近い形状で厚さ195nmのMo上部電極17を形成した。上部電極17の主体部17aは、下部電極主体部15aに対応する位置に配置した。次に、実施例19と同様の操作により、空隙となるビアホール20を形成した。さらに、ドライエッチングにより、振動部21に対応する領域の絶縁体層13をもエッチング除去して、下部電極15の下面を露出させた。

上記の工程によって製造されたAlN薄膜-金属電極積層体について、実施例19と同様にして、AlN薄膜（圧電体薄膜）の組成分析、ディフラクトメーター法による格子定数測定、および(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)測定を行った。AlN薄膜の組成および結晶性の評価結果を表6に示す。

また、実施例19と同様にして、上記薄膜圧電共振子(FBAR)の電極端子15b, 17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 $f_r$  および反共振周波数 $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$  および音響的品質係数Qを求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数Qを表7に示す。

## [実施例 22, 23]

本実施例では、以下のようにして、図7及び図8に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

即ち、低圧CVD法により、厚さ $300\mu\text{m}$ の(100)Si基板12  
5の上下両面に表7に記載した厚さの $\text{SiN}_x$ 層を形成し、 $\text{SiN}_x$ から成  
る絶縁体層13を形成した。この絶縁体層13の上面に、DCマグネトロ  
ン・スパッター法により表5に記載の厚さのTi金属層(密着金属層)、  
Au金属層(第2の金属層)及びMo金属層(第1の金属層)をこの順番  
に形成し、フォトリソグラフィーによりパターン化してMo/Au/Ti  
10下部電極15を形成した。下部電極15の主体部15aは、平面寸法 $150\times 170\mu\text{m}$ の矩形に近い形状とした。Au金属層が(111)単一配  
向膜であり、Mo金属層が(110)単一配向膜であることは、X線回折  
測定により確認した。このMo/Au/Ti下部電極15を形成した基板  
12上に、表5に記載の厚さの $\text{SiN}_x$ 層(界面層)またはAl層(界面  
15層)を形成した後、実施例19と同様の操作により圧電体薄膜16を形成  
して、下部電極15とAlN薄膜(圧電体薄膜)16との界面に、 $\text{SiN}_x$ 層またはAl層が介在するような構成とした。

その後、DCマグネトロン・スパッター法とリフトオフ法を使用して、  
主体部17aの平面寸法 $130\times 150\mu\text{m}$ の矩形に近い形状のMo/  
20Au/Ni上部電極17[実施例22]または厚さ $195\text{nm}$ のMo上部  
電極17[実施例23]を形成した。実施例22において、Ti金属層は  
密着金属層として使用され、Pt金属層は第4の金属層として使用され、  
Mo金属層は第3の金属層として使用され、これらの厚さは表5に記載さ  
れた通りとした。上部電極17の主体部17aは、下部電極主体部15a  
25に対応する位置に配置した。次に、実施例19と同様の操作により、空隙  
となるビアホール20を形成した。

上記の工程によって製造されたAlN薄膜-金属電極積層体について、  
実施例19と同様にして、AlN薄膜(圧電体薄膜)の組成分析、ディフ  
ラクトメータ法による格子定数測定、および(0002)回折ピークの  
30 ロッキング・カーブ半値幅(FWHM)測定を行った。AlN薄膜の組成

および結晶性の評価結果を表6に示す。

また、実施例19と同様にして、上記薄膜圧電共振子(FBAR)の電極端子15b, 17b間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数 $f_r$  および反共振周波数 $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表7に示す。

[実施例24, 25]

本実施例では、以下のようにして、図3及び図4に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

即ち、実施例22と同様の操作により、 $SiN_x$  から成る絶縁体層13を形成した。この絶縁体層13の上面に、DCマグネトロン・スパッター法により表5に記載の材質と厚さとを有する密着金属層、第2の金属層及び第1の金属層をこの順番に形成し、フォトリソグラフィーによりパターン化して、Mo(TZM合金)/Au/V下部電極15 [実施例24] またはMo-Re合金/Au/Crより成る下部電極15 [実施例25] を形成した。下部電極15の主体部15aは、振動部21に対応する部分を含むように延びている平面寸法 $120 \times 280 \mu m$ の矩形に近い形状とした。Au金属層が(111)単一配向膜であり、Mo(TZM合金)金属層またはMo-Re合金金属層が(110)単一配向膜であることは、X線回折測定により確認した。このMo(TZM合金)/Au/V下部電極15またはMo-Re合金/Au/Cr下部電極15を形成した基板12上に、実施例19と同様の操作により圧電体薄膜16を形成した。

その後、DCマグネトロン・スパッター法とリフトオフ法を使用して、平面寸法 $65 \times 85 \mu m$ の矩形に近い形状の主体部17Aa, 17Baが間隔 $20 \mu m$ をおいて配置されたMo(TZM合金)/Au上部電極17 [実施例24] またはMo-Re合金/Au/Ti上部電極17 [実施例25] を形成した。実施例24において、Au金属層は第4の金属層として使用され、Mo(TZM合金)金属層は第3の金属層として使用され、これらの厚さは表5に記載された通りとした。また、実施例25におい

て、Ti 金属層は密着金属層として使用され、Au 金属層は第4の金属層として使用され、Mo-Re 合金金属層は第3の金属層として使用され、これらの厚さは表5に記載された通りとした。上部電極17の主体部17Aa, 17Baは、それぞれ下部電極15に対応する位置に配置した。次に、実施例19と同様の操作により、空隙となるビアホール20を形成した。

上記の工程によって製造されたAlN薄膜-金属電極積層体について、実施例19と同様にして、AlN薄膜（圧電体薄膜）の組成分析、ディフракトメーター法による格子定数測定、および（0002）回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）測定を行った。AlN薄膜の組成および結晶性の評価結果を表6に示す。

また、カスケード・マイクロテック製マイクロ波プローバーを使用して、上記薄膜圧電共振子の下部電極15の端子部（図3及び図4で左側の露出部分）を接地電極に接続し、上部電極17Aの端子部17Abから信号を入力し、上部電極17Bの端子部17Bbから出力信号を取り出して、ネットワークアナライザーで信号強度・波形などを解析した。個々の共振子の共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表7に示す。

#### [実施例26]

本実施例では、以下のようにして、図3及び図4に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質及び厚さが表5～表7に示されているようにされたこと以外は、実施例24と同様の工程を実行した。ここで、絶縁体層13としては、熱酸化法により形成された $SiO_2$ 層を用いた。

実施例24と同様にして、得られたAlN薄膜（圧電体薄膜）の組成分析とX線回折測定を行った。AlN薄膜の組成および結晶性の評価結果を表6に示す。

また、実施例24と同様にして測定した、共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表7に示す。

5      [実施例27, 28]

本実施例では、以下のようにして、図7及び図8に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質及び厚さが表5～表7に示されているようにされたこと以外は、  
10    実施例20と同様の工程を実行した。

実施例20と同様にして、得られたA1N薄膜（圧電体薄膜）の組成分析とX線回折測定を行った。A1N薄膜の組成および結晶性の評価結果を表6に示す。

また、実施例20と同様にして測定した、共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表7に示す。  
15

    [実施例29, 30]

本実施例では、以下のようにして、図7及び図8に示されている構造の  
20    薄膜圧電共振子を作製した。

即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質、厚さが表5～表7に示されているようにされたこと以外は、実施例22と同様の工程を実行した。

実施例22と同様にして、得られたA1N薄膜（圧電体薄膜）の組成分析とX線回折測定を行った。A1N薄膜の組成および結晶性の評価結果を表6に示す。  
25

また、実施例22と同様にして測定した、共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表7に示す。  
30

## 〔実施例31〕

本実施例では、以下のようにして、図3及び図4に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

5 即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質、厚さが表5～表7に示されているようにされ、空隙となるビアホール20形成後に、ドライエッチングにより、振動部21に対応する領域の絶縁体層13をもエッチング除去して、下部電極15の下面を露出させたこと以外は、実施例26と同様の工程を実行した。

10 実施例26と同様にして、得られたA1N薄膜（圧電体薄膜）の組成分析とX線回折測定を行った。A1N薄膜の組成および結晶性の評価結果を表6に示す。

また、実施例26と同様にして測定した、共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表7に示す。

## 〔実施例32〕

本実施例では、以下のようにして、図3及び図4に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

20 即ち、絶縁体層13、下部電極15、上部電極17および圧電体薄膜16の材質、厚さが表5～表7に示されているようにされたこと以外は、実施例26と同様の工程を実行した。

実施例26と同様にして、得られたA1N薄膜（圧電体薄膜）の組成分析とX線回折測定を行った。A1N薄膜の組成および結晶性の評価結果を表6に示す。

25 また、実施例26と同様にして測定した、共振周波数 $f_r$ 、および反共振周波数 $f_a$ の測定値から、電気機械結合係数 $k_t^2$ および音響的品質係数 $Q$ を求めた。得られた圧電薄膜共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数 $k_t^2$ 、および音響的品質係数 $Q$ を表7に示す。

## 〔比較例5, 6〕

30 本比較例では、以下のようにして、図7及び図8に示されている構造の

薄膜圧電共振子を作製した。

即ち、絶縁体層 13、下部電極 15、上部電極 17 および圧電体薄膜 16 の材質、厚さが表 5～表 7 に示されているようにされたこと以外は、実施例 19 と同様の工程を実行した。

- 5      上記の工程によって製造された A1N 薄膜－金属電極積層体について、実施例 19 と同様にして、A1N 薄膜（圧電体薄膜）の組成分析、ディフラクトメータ法による格子定数測定、および（0002）回折ピークのロッキング・カーブ半値幅（FWHM）測定を行った。A1N 薄膜の組成および結晶性の評価結果を表 6 に示す。XPS 分光法により測定した A1
- 10      N 薄膜の酸素含有量は、表 6 に示す通りであった。実施例 19～32 と同様の操作で分析評価を行ったのであるが、A1N 薄膜の品質が悪い為に、XPS 分析までに膜が酸化されて、酸素含有量が増加した可能性もある。

- 15      また、実施例 19 と同様にして、上記薄膜圧電共振子（FBAR）の電極端子 15b、17b 間のインピーダンス特性を測定すると共に、共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、および音響的品質係数  $Q$  を表 7 に示す。

- 20      [比較例 7]

本比較例では、以下のようにして、図 3 及び図 4 に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

- 25      即ち、絶縁体層 13、下部電極 15、上部電極 17 および圧電体薄膜 16 の材質、厚さが表 5～表 7 に示されているようにされたこと以外は、実施例 26 と同様の工程を実行した。

実施例 26 と同様にして、得られた A1N 薄膜（圧電体薄膜）の組成分析と X 線回折測定を行った。A1N 薄膜の組成および結晶性の評価結果を表 6 に示す。

- 30      また、実施例 26 と同様にして測定した、共振周波数  $f_r$  および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数  $Q$

を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、および音響的品質係数  $Q$  を表 7 に示す。

〔比較例 8〕

5 本比較例では、以下のようにして、図 7 及び図 8 に示されている構造の薄膜圧電共振子を作製した。

即ち、絶縁体層 13、下部電極 15、上部電極 17 および圧電体薄膜 16 の材質、厚さが表 5～表 7 に示されているようにされたこと以外は、実施例 19 と同様の工程を実行した。

10 実施例 19 と同様にして、得られた A1N 薄膜（圧電体薄膜）の組成分析と X 線回折測定を行った。A1N 薄膜の組成および結晶性の評価結果を表 6 に示す。

また、実施例 19 と同様にして測定した、共振周波数  $f_r$ 、および反共振周波数  $f_a$  の測定値から、電気機械結合係数  $k_t^2$  および音響的品質係数  $Q$  を求めた。得られた薄膜圧電共振子の厚み振動の基本周波数、電気機械結合係数  $k_t^2$ 、および音響的品質係数  $Q$  を表 7 に示す。

15

[表1]

	薄膜形成条件		第三成分		X線回折測定		
	窒素濃度 (vol%)	基板温度 (°C)	元素の種類	含有量 (Atom%)	ロッキングカーブ FWHM (deg)	格子定数 C軸長 (nm)	K $\alpha$ 1ピーク FWHM (deg)
実施例1	20	380	Ca	1.5	3.2	0.4982	0.55
実施例2	10	420	Er	1.1	2.2	0.4979	0.40
実施例3	15	330	Y	1.0	1.8	0.4980	0.70
実施例4	25	450	Y	0.8	1.5	0.4984	0.45
実施例5	30	480	Ca	1.3	3.1	0.4986	0.35
実施例6	50	500	Er	0.4	2.4	0.4995	0.30
実施例7	40	300	Y	0.6	1.9	0.4991	0.80
実施例8	35	400	Y	0.7	1.7	0.4988	0.50
比較例1	20	320	—	—	5.4	0.4996	1.01
比較例2	30	340	—	—	5.9	0.4998	1.10

[表2]

	FBAR構造	下地膜		A1N薄膜 厚さ (μm)	インピーダンス特性		電気機械結合 係数 $k_e^2$ (%)	周波数温度係数 $\tau_f$ (ppm/°C)	音響的品質 係数 Q
		材質	厚さ (μm)		共振周波数 (GHz)	反共振周波数 (GHz)			
実施例1	図1, 2	SiN <sub>x</sub>	0.55	1.55	2.14	2.19	4.85	-7.9	770
実施例2	図1, 2	SiO <sub>2</sub>	0.50	1.50	2.10	2.15	5.62	6.6	810
実施例3	図1, 2	SiO <sub>2</sub>	0.28	1.32	2.90	2.97	5.88	-3.0	640
実施例4	図1, 2	SiO <sub>2</sub>	0.35	1.35	2.76	2.83	6.20	-0.1	1180
実施例5	図3, 4	SiN <sub>x</sub>	0.50	1.60	2.09	2.14	5.03	-9.9	1400
実施例6	図3, 4	SiO <sub>2</sub>	0.45	1.45	2.12	2.17	5.48	4.5	1120
実施例7	図3, 4	SiO <sub>2</sub>	0.40	1.40	2.37	2.43	5.84	2.3	580
実施例8	図3, 4	SiO <sub>2</sub>	0.30	1.25	2.89	2.97	6.10	-1.8	930
比較例1	図1, 2	SiN <sub>x</sub>	0.60	1.30	2.24	2.27	3.40	-28.6	150
比較例2	図3, 4	SiN <sub>x</sub>	0.55	1.25	2.18	2.21	3.21	-29.0	140

[表3]

	下部電極		上部電極		圧電体膜の作製条件					X P S分光	X 線 回 折	
	材 質	厚さ (nm)	材 質	厚さ (nm)	薄膜形成条件		圧電体膜の組成 (モル比)					
					窒素濃度 (vol%)	基板温度 (℃)	AlN	GaN	InN		格子* ミスマッチ (%)	ロッキングカーブ FWHM (deg)
実施例9	Pt/Ti	110	Pt/Ti	110	30	430	0.92	—	0.08	<0.5	1.62	1.5
実施例10	Pt/Ti	105	Pt/Ti	105	35	380	0.85	0.15	—	<0.5	2.31	2.3
実施例11	Pt/Ti	115	Pt/Ti	115	25	405	0.78	0.22	—	<0.5	2.14	1.8
実施例12	Pt/Ti	120	Pt/Ti	120	50	330	0.92	0.08	—	<0.5	2.48	3.2
実施例13	Mo	115	Mo	115	45	360	0.93	0.07	—	<0.5	0.96	2.4
実施例14	Mo	110	Mo	110	25	380	0.91	0.09	—	<0.5	0.92	2.0
実施例15	Mo	105	Mo	105	30	410	0.89	0.11	—	<0.5	0.87	1.6
実施例16	Mo	100	Mo	100	35	400	0.97	—	0.03	<0.5	0.74	1.7
実施例17	W	110	W	110	40	365	0.95	—	0.05	<0.5	0.99	2.0
実施例18	W	105	W	105	30	395	0.94	—	0.06	<0.5	0.89	1.8
比較例3	Pt/Ti	110	Pt/Ti	110	45	350	1.00	—	—	2.7	2.87	4.4
比較例4	Mo	110	Mo	110	45	330	1.00	—	—	2.2	1.15	4.8

\*体心立方格子の金属結晶の場合には、 $100 * (L_{M100} - L_{P2a}) / L_{M100}$ \*面心立方格子の金属結晶の場合には、 $100 * (L_{M110} - L_{P21}) / L_{M110}$

[表4]

	F B A R 構 造	絶縁体層		圧電体膜 厚 さ ( $\mu\text{m}$ )	インピーダンス特性		電気機械 結合係数 $k_t^2$ (%)	周 波 数 温度特性 $\tau$ : (ppm / $^{\circ}\text{C}$ )	音 響 的 品 質 係 数 $Q$
		材 質	厚 さ ( $\mu\text{m}$ )		共 振 周 波 数 (GHz)	反共振周波数 (GHz)			
実施例9	図 1, 2	$\text{SiO}_2$	0.28	1.32	2.83	2.91	6.17	- 4.5	1700
実施例10	図 1, 2	$\text{SiO}_2$	0.50	1.50	2.10	2.15	5.41	7.0	950
実施例11	図 3, 4	$\text{SiO}_2$	0.35	1.35	2.69	2.76	6.28	- 0.1	1290
実施例12	図 1, 2	$\text{SiN}_x$	0.55	1.55	2.25	2.29	4.55	- 7.9	640
実施例13	図 1, 2	$\text{SiN}_x$	0.37	1.60	2.52	2.58	5.31	- 10.6	1020
実施例14	図 1, 2	$\text{SiO}_2$	0.45	1.45	2.26	2.32	5.69	4.8	980
実施例15	図 3, 4	$\text{SiO}_2$	0.40	1.40	2.37	2.43	6.09	2.4	1360
実施例16	図 3, 4	$\text{SiO}_2$	0.40	1.40	2.45	2.52	6.38	2.3	1230
実施例17	図 1, 2	$\text{SiN}_x$	0.40	1.40	3.00	3.08	5.69	- 9.0	700
実施例18	図 3, 4	$\text{SiO}_2$	0.33	1.28	2.91	2.98	6.28	- 0.2	1100
比較例 3	図 1, 2	$\text{SiO}_2$	0.60	1.30	2.24	2.26	2.98	21.1	410
比較例 4	図 3, 4	$\text{SiO}_2$	0.55	1.25	2.18	2.20	2.62	19.1	370

[表5]

下部電極、下部電極-圧電薄膜界面および上部電極を構成する金属層の材質、厚さおよび性状

	下 部 電 極						上 部 電 極														
	密着層			第2の金属層 b			第1の金属層 a			下部電極- 圧電薄膜 間の界面層			密着層			第4の金属層 d			第3の金属層 c		
	材質	厚さ (nm)	材質	厚さ (nm)	FWHM (deg)	材質	厚さ (nm)	FWHM (deg)	材質	厚さ (nm)	FWHM (deg)	材質	厚さ (nm)	FWHM (deg)	材質	厚さ (nm)	FWHM (deg)	材質	厚さ (nm)	FWHM (deg)	
実施例19	—	—	Au	60	2.3	Mo	150	2.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
実施例20	Ti	30	Pt	45	1.5	Mo	145	2.0	—	—	—	—	—	—	Ti	30	Pt	40	Mo	130	
実施例21	Ti	25	Au	50	1.3	Mo	140	1.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Mo	195	
実施例22	Ti	25	Au	60	1.4	Mo	130	1.5	SiN <sub>x</sub>	9	Ni	25	Au	55	Mo	115	—	—	Mo	115	
実施例23	Ti	35	Au	45	1.3	Mo	135	1.3	Al	7	—	—	—	—	—	—	—	—	Mo	195	
実施例24	V	35	Au	40	1.7	Mo (TZM合金)	140	1.8	—	—	—	—	—	—	Au	35	Mo (TZM合金)	160	—	—	
実施例25	Cr	30	Au	45	2.0	Mo-Re 合金	150	2.1	—	—	—	—	—	—	Ti	30	Au	40	Mo-Re 合金	135	
実施例26	Ti	20	Al	55	2.5	Mo	135	2.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Mo	140	
実施例27	Ta	35	Ir	40	4.9	W	140	5.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
実施例28	Mg合金*	15	Pt	55	3.5	W-Mo 合金	150	4.4	—	—	—	—	—	—	Cr	20	Pt	35	W-Mo 合金	135	
実施例29	Ni	35	Pt	45	3.3	W-Re 合金	130	4.3	—	—	—	—	—	—	Nb	35	—	—	W-Re 合金	165	
実施例30	Hf	25	Ir	50	3.1	Nb	135	3.5	—	—	—	—	—	—	Ta	25	Ir	45	Nb	120	
実施例31	Zr	30	Au	45	3.4	W	150	3.6	—	—	—	—	—	—	Zr	30	Au	40	W	135	
実施例32	—	—	Pt	45	3.3	W-Cu-Ni 合金	140	4.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	W-Cu-Ni 合金	160	
比較例5	—	—	Ni	145	14.0	W	75	8.0	—	—	—	—	—	—	Ni	40	W	160	—	—	
比較例6	—	—	—	—	—	Mo	200	15.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Mo	180	
比較例7	—	—	—	—	—	W	200	26.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	W	180	
比較例8	—	—	Au	220	2.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Au	190	

a : 体心立方構造の金属、b : 面心立方構造の金属、c : 体心立方構造の金属、d : 面心立方構造の金属、\* : Mg-Al-Zn-Mn合金  
FWHM : X線回折におけるロッキング・カーブ半値幅

[表6]

## A 1 N 圧電薄膜の作製条件、組成および X 線回折測定結果

	A 1 N 薄膜の形成条件			A 1 N 薄膜の性状		
				X P S 分光	X 線回折	
	成膜圧力 (Pa)	窒素濃度 (vol%)	基板温度 (°C)	酸素濃度 (Atm %)	格子定数 c 軸長 (nm)	ロックン・カーブ FWHM (deg)
実施例19	1.15	30	350	<0.5	0.4979	2.4
実施例20	1.00	35	300	<0.5	0.4981	2.2
実施例21	0.67	25	325	<0.5	0.4976	1.7
実施例22	0.82	50	305	<0.5	0.4991	2.0
実施例23	0.60	50	315	<0.5	0.4990	1.9
実施例24	0.75	35	340	<0.5	0.4981	2.1
実施例25	0.90	45	290	<0.5	0.4987	2.3
実施例26	1.08	25	275	<0.5	0.4976	2.5
実施例27	0.98	30	275	<0.5	0.4979	3.5
実施例28	0.80	50	285	<0.5	0.4990	3.2
実施例29	0.88	45	340	<0.5	0.4987	3.1
実施例30	0.74	40	305	<0.5	0.4984	2.8
実施例31	0.58	35	320	<0.5	0.4981	2.9
実施例32	0.65	30	290	<0.5	0.4979	3.1
比較例5	0.70	45	315	1.2	0.4987	5.3
比較例6	0.93	45	285	2.2	0.4986	10.7
比較例7	0.78	45	285	2.5	0.4988	12.4
比較例8	0.85	40	280	<0.5	0.4984	2.9

[表7]

A1N圧電薄膜を用いて作製したFBARの構成と共振子としての特性、性能

	F B A R 構 造	絶 縁 膜		圧電薄膜	インピーダンス特性		電気機械 結合係数 $K_e^2$ (%)	音 響 的 品質係数 $Q$
		材質	厚さ ( $\mu\text{m}$ )		共振周波数 (GHz)	反共振周波数 (GHz)		
実施例19	図7, 8	SiO <sub>2</sub>	0.20	0.98	1.93	1.98	5.97	922
実施例20	図7, 8	SiO <sub>2</sub>	0.30	1.10	1.95	2.00	6.12	1040
実施例21	図7, 8	—	—	1.50	2.28	2.35	6.50	1270
実施例22	図7, 8	SiN <sub>x</sub>	0.25	1.30	2.06	2.11	6.27	1126
実施例23	図7, 8	SiN <sub>x</sub>	0.40	1.40	1.98	2.03	6.35	1178
実施例24	図3, 4	SiN <sub>x</sub>	0.35	1.15	2.16	2.22	6.19	1130
実施例25	図3, 4	SiN <sub>x</sub>	0.37	1.45	1.86	1.91	6.04	1025
実施例26	図3, 4	SiO <sub>2</sub>	0.43	1.05	1.80	1.84	5.88	926
実施例27	図7, 8	SiO <sub>2</sub>	0.30	0.99	1.87	1.91	5.05	623
実施例28	図7, 8	SiO <sub>2</sub>	0.20	1.30	2.07	2.12	5.23	707
実施例29	図7, 8	SiN <sub>x</sub>	0.25	1.20	2.32	2.37	5.30	740
実施例30	図7, 8	SiN <sub>x</sub>	0.30	1.35	1.98	2.02	5.35	712
実施例31	図3, 4	—	—	1.40	2.35	2.41	5.53	781
実施例32	図3, 4	SiO <sub>2</sub>	0.28	1.28	2.02	2.06	5.30	779
比較例5	図7, 8	SiO <sub>2</sub>	0.38	1.00	1.92	1.95	3.48	390
比較例6	図7, 8	SiO <sub>2</sub>	0.35	1.05	1.90	1.92	1.95	235
比較例7	図3, 4	SiO <sub>2</sub>	0.35	1.10	1.86	1.88	1.57	246
比較例8	図7, 8	SiO <sub>2</sub>	0.40	0.78	1.83	1.86	3.91	407

### 産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明の圧電薄膜共振子によれば、圧電体膜としてアルカリ土類金属または希土類金属を含有する窒化アルミニウム薄膜を用いているので、電気機械結合係数、音響的品質係数（Q値）及び周波数  
5 温度特性の向上が可能となる。

また、以上説明したように、本発明の圧電薄膜共振子によれば、圧電体膜として窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体からなる薄膜または窒化アルミニウムと窒化インジウムとの固溶体からなる薄膜を用いている  
10 ので、電気機械結合係数、音響的品質係数（Q値）及び周波数温度特性などの性能の向上が可能である。

更に、以上説明したように、本発明の窒化アルミニウム薄膜－金属電極積層体では、高配向性の薄膜が容易に得られる面心立方構造の金属の薄膜と高弾性の体心立方構造の金属の薄膜とを積層することにより、高配向性かつ高弾性の積層金属電極膜を形成し、この積層金属電極膜上に窒化アル  
15 ミニウム薄膜を成長させているので、（0002）回折ピークのロッキング・カーブが急峻なピークで半値幅（FWHM）が小さく、従って高配向性、高結晶性のc軸配向の窒化アルミニウム薄膜が得られる。

また、本発明の薄膜圧電共振子は、以上のような窒化アルミニウム薄膜－金属電極積層体により高弾性かつ高配向性の金属薄膜より成る一方の金属電極と高配向性、高結晶性のc軸配向窒化アルミニウム圧電薄膜との組  
20 合せを構成し、その上に他方の金属電極を形成することにより、電気機械結合係数、音響的品質係数（Q値）などの性能が著しく向上する。その結果、従来に無い高特性のFBARまたはSBARを作製でき、これを用いて、高周波域で損失が少なく、利得、帯域特性の良好な圧電薄膜フィル  
25 ター、薄膜VCO、送受信分波器などの薄膜圧電素子を提供することが可能となる。

## 請 求 の 範 囲

1. 基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とを有しており、前記圧電積層構造体の一部を含んで振動部が構成されており、前記圧電積層構造体は下部電極、圧電体膜および上部電極を前記基板の側からこの順に積層してなるものであり、前記基板は前記振動部に対応する領域にて該振動部の振動を許容する空隙を形成している圧電薄膜共振子において、
- 5 前記圧電体膜がアルカリ土類金属及び／または希土類金属を含有する窒化アルミニウム薄膜であることを特徴とする圧電薄膜共振子。
- 10 2. 前記圧電体膜における前記アルカリ土類金属及び前記希土類金属の含有量は0.2～3.0原子%であることを特徴とする、請求項1に記載の圧電薄膜共振子。
3. 前記圧電体膜は、C軸配向を示し、(0002)面のX線回折ピークのロッキング・カーブ半値幅が3.0°以下であることを特徴とする、請求項1に記載の圧電薄膜共振子。
- 15 4. 前記圧電体膜は、C軸長が0.4978～0.4993 nmであることを特徴とする、請求項1に記載の圧電薄膜共振子。
5. 前記圧電体膜は、(0002)面のX線回折ピークの2θ回転角の半値幅が0.6°以下であることを特徴とする、請求項1に記載の圧電薄膜共振子。
- 20 6. 前記基板と前記圧電積層構造体との間には下地膜が形成されており、前記振動部は前記下地膜の一部をも含んで構成されていることを特徴とする、請求項1に記載の圧電薄膜共振子。
- 25 7. 前記下地膜は酸化シリコンを主成分とする誘電体膜、窒化シリコンを主成分とする誘電体膜または酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜であることを特徴とする、請求項6に記載の圧電薄膜共振子。
8. 前記基板はシリコン単結晶からなることを特徴とする、請求項1に記載の圧電薄膜共振子。
- 30

9. 前記上部電極は互いに離隔して形成された第1の電極部と第2の電極部とからなることを特徴とする、請求項1に記載の圧電薄膜共振子。

10. 2. 0~3. 0 GHzの範囲における共振周波数及び反共振周波数の測定値から求めた電気機械結合係数が4. 5%以上であることを特徴とする、請求項1に記載の圧電薄膜共振子。

11. 圧電体膜とその両面にそれぞれ形成された電極とを含む圧電積層構造体の一部を含んで振動部が構成される圧電薄膜共振子であって、

10 前記圧電体膜は一般式 $Al_{1-x}Ga_xN$ （但し、 $0 < x < 1$ ）で表される窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体または一般式 $Al_{1-y}In_yN$ （但し、 $0 < y < 1$ ）で表される窒化アルミニウムと窒化インジウムとの固溶体よりなる配向性結晶膜であることを特徴とする圧電薄膜共振子。

15 12. 前記圧電積層構造体は複数の圧電体膜と該複数の圧電体膜のそれぞれの両面にそれぞれ形成された電極とを含んでいることを特徴とする、請求項11に記載の圧電薄膜共振子。

20 13. 前記圧電積層構造体はその周辺部が基板に支持され且つ中央部が前記振動部を構成していることを特徴とする、請求項11に記載の圧電薄膜共振子。

14. 前記基板と前記圧電積層構造体との間には絶縁体層が形成されており、前記振動部は前記絶縁体層の一部をも含んで構成されていることを特徴とする、請求項13に記載の圧電薄膜共振子。

25 15. 前記絶縁体層は酸化シリコンを主成分とする誘電体膜、窒化シリコンを主成分とする誘電体膜または酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜であることを特徴とする、請求項14に記載の圧電薄膜共振子。

16. 前記基板は半導体または絶縁体からなることを特徴とする、請求項13に記載の圧電薄膜共振子。

30 17. 前記基板はシリコン単結晶からなることを特徴とする、請求

項16に記載の圧電薄膜共振子。

18. 前記圧電体膜または前記第1の圧電体膜及び前記第2の圧電体膜は、C軸配向を示し、(0002)面のX線回折ピークのロッキング・カーブ半値幅が $3.0^\circ$ 以下であることを特徴とする、請求項11に記載の圧電薄膜共振子。

19. 基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とを有しており、前記圧電積層構造体の一部を含んで振動部が構成されており、前記圧電積層構造体は下部電極、圧電体膜および上部電極を前記基板の側からこの順に積層した構造を含んでなるものであり、前記基板は前記振動部に対応する領域にて該振動部の振動を許容する空隙を形成している圧電薄膜共振子であって、

前記圧電体膜は一般式 $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ （但し、 $0 < x < 1$ ）で表される窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体または一般式 $\text{Al}_{1-y}\text{In}_y\text{N}$ （但し、 $0 < y < 1$ ）で表される窒化アルミニウムと窒化インジウムとの固溶体よりなる配向性結晶膜であることを特徴とする圧電薄膜共振子。

20. 前記上部電極は互いに離隔して形成された第1の電極部と第2の電極部とからなることを特徴とする、請求項19に記載の圧電薄膜共振子。

21. 前記基板と前記圧電積層構造体との間には絶縁体層が形成されており、前記振動部は前記絶縁体層の一部をも含んで構成されていることを特徴とする、請求項19に記載の圧電薄膜共振子。

22. 前記絶縁体層は酸化シリコンを主成分とする誘電体膜、窒化シリコンを主成分とする誘電体膜または酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜であることを特徴とする、請求項21に記載の圧電薄膜共振子。

23. 前記基板は半導体または絶縁体からなることを特徴とする、請求項19に記載の圧電薄膜共振子。

24. 前記基板はシリコン単結晶からなることを特徴とする、請求項23に記載の圧電薄膜共振子。

25. 前記圧電体膜または前記第1の圧電体膜及び前記第2の圧電体膜は、C軸配向を示し、(0002)面のX線回折ピークのロッキング・カーブ半値幅が $3.0^\circ$ 以下であることを特徴とする、請求項19に記載の圧電薄膜共振子。

5        26. 基板と、該基板上に形成された圧電積層構造体とを有しており、前記圧電積層構造体の一部を含んで振動部が構成されており、前記圧電積層構造体は下部電極、第1の圧電体膜、内部電極、第2の圧電体膜および上部電極を前記基板の側からこの順に積層してなるものであり、前記基板は前記振動部に対応する領域にて該振動部の振動を許容する空隙を形成している圧電薄膜共振子であって、

10        前記第1の圧電体膜及び前記第2の圧電体膜はいずれも一般式 $Al_{1-x}Ga_xN$ （但し、 $0 < x < 1$ ）で表される窒化アルミニウムと窒化ガリウムとの固溶体または一般式 $Al_{1-y}In_yN$ （但し、 $0 < y < 1$ ）で表される窒化アルミニウムと窒化インジウムとの固溶体よりなる配向性結晶膜である

15        ことを特徴とする圧電薄膜共振子。

27. 前記基板と前記圧電積層構造体との間には絶縁体層が形成されており、前記振動部は前記絶縁体層の一部をも含んで構成されていることを特徴とする、請求項26に記載の圧電薄膜共振子。

28. 前記絶縁体層は酸化シリコンを主成分とする誘電体膜、窒化シリコンを主成分とする誘電体膜または酸化シリコンを主成分とする誘電体膜と窒化シリコンを主成分とする誘電体膜との積層膜であることを特徴とする、請求項27に記載の圧電薄膜共振子。

29. 前記基板は半導体または絶縁体からなることを特徴とする、請求項26に記載の圧電薄膜共振子。

25        30. 前記基板はシリコン単結晶からなることを特徴とする、請求項29に記載の圧電薄膜共振子。

31. 前記圧電体膜または前記第1の圧電体膜及び前記第2の圧電体膜は、C軸配向を示し、(0002)面のX線回折ピークのロッキング・カーブ半値幅が $3.0^\circ$ 以下であることを特徴とする、請求項26に記載の圧電薄膜共振子。

30

32. 金属電極と該金属電極の上に少なくとも一部が形成されたc  
軸配向を示す窒化アルミニウム薄膜との積層体であって、前記金属電極が  
体心立方構造を有する第1の金属層と面心立方構造を有する第2の金属層  
との積層を含む2以上の金属層から構成されており、前記第1の金属層の  
5 厚さが前記金属電極の厚さの0.5倍以上であることを特徴とする窒化アル  
ミニウム薄膜-金属電極積層体。

33. 前記第1の金属層は、モリブデン、タングステン、モリブデ  
ンを主成分とする合金、およびタングステンを主成分とする合金のうちか  
ら選ばれる金属で構成されていることを特徴とする、請求項32に記載の  
10 窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

34. 前記第2の金属層は、イリジウム、白金、金、アルミニウ  
ム、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を  
主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、および銀を主成分  
とする合金のうちから選ばれる金属で構成されていることを特徴とする、  
15 請求項32に記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

35. 前記窒化アルミニウム薄膜は前記第1の金属層と接して形成  
されていることを特徴とする、請求項32に記載の窒化アルミニウム薄膜  
-金属電極積層体。

36. 前記窒化アルミニウム薄膜と前記第1の金属層との間に、前  
20 記金属電極の厚さの0.1倍以下の厚さの金属層または化合物層からなる  
界面層が形成されていることを特徴とする、請求項32に記載の窒化アル  
ミニウム薄膜-金属電極積層体。

37. 前記界面層は、アルミニウム、シリコン、アルミニウムを主  
成分とする合金または化合物、およびシリコンを主成分とする合金または  
25 化合物から選ばれる金属または化合物で構成されていることを特徴とす  
る、請求項36に記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

38. 前記第2の金属層の前記第1の金属層に面する側とは反対の  
側の面に、密着金属層が形成されていることを特徴とする、請求項32に  
記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体。

30 39. 前記密着金属層は、マグネシウム、チタン、バナジウム、ジ

ルコニウム、ハフニウム、ニオブ、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、  
5 クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属で構成されていることを特徴とする、請求項38に記載の窒化アルミニウム薄膜－金属電極積層体。

40. 前記窒化アルミニウム薄膜の(0002)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が3.3°未満であることを特徴とする、請求項32に記載の窒化アルミニウム薄膜－金属電極積層体。  
10

41. 前記第1の金属層の(110)回折ピークのロッキング・カーブ半値幅(FWHM)が4.5°未満であることを特徴とする、請求項32に記載の窒化アルミニウム薄膜－金属電極積層体。

42. 圧電体薄膜が複数の電極の間に挟み込まれ、前記圧電体薄膜  
15 がその周囲の支持により中心部にて橋架けされてなる構造を有する薄膜圧電共振子において、前記圧電体薄膜と前記電極のうちの1つが請求項32に記載の窒化アルミニウム薄膜－金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電共振子。

43. 振動空間を有する半導体あるいは絶縁体からなる基板と、該  
20 基板の前記振動空間に面する位置にて下部電極、圧電体薄膜および上部電極がこの順に積層された積層構造体とを備えている薄膜圧電共振子において、前記圧電体薄膜と前記下部電極とが請求項32に記載の窒化アルミニウム薄膜－金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電共振子。

44. 前記上部電極は互いに隔離して配置された2つの電極部からなることを特徴とする、請求項43に記載の薄膜圧電共振子。  
25

45. 前記振動空間に面する位置にて前記積層構造体には少なくとも一層の酸化シリコンおよび／または窒化シリコンを主成分とする絶縁層が付されていることを特徴とする、請求項43に記載の薄膜圧電共振子。  
30

46. 前記上部電極は、モリブデン、タングステン、ニオブ、アルミニウム、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、およびアルミニウムを主成分とする合金のうちから選ばれる金属を含んで構成されていることを特徴とする、請求項43に記載の薄膜圧電共振子。

47. 前記上部電極は、モリブデン、タングステン、ニオブ、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、イリジウム、白金、金、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、銀を主成分とする合金、マグネシウム、アルミニウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属からなる金属層の2種類以上の積層を含んで構成されていることを特徴とする、請求項43に記載の薄膜圧電共振子。

48. 振動空間を有する半導体あるいは絶縁体からなる基板と、該基板の前記振動空間に面する位置にて下部電極、第1の圧電体薄膜、内部電極、第2の圧電体膜および上部電極がこの順に積層された積層構造体とを備えている薄膜圧電共振子において、前記第1の圧電体薄膜と前記下部電極とが請求項32に記載の窒化アルミニウム薄膜-金属電極積層体で構成されていることを特徴とする薄膜圧電共振子。

49. 前記振動空間に面する位置にて前記積層構造体には少なくとも一層の酸化シリコンおよび／または窒化シリコンを主成分とする絶縁層が付されていることを特徴とする、請求項48に記載の薄膜圧電共振子。

50. 前記上部電極及び前記内部電極のそれぞれは、モリブデン、タングステン、ニオブ、アルミニウム、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、およびア

ルミニウムを主成分とする合金のうちから選ばれる金属を含んで構成されていることを特徴とする、請求項48に記載の薄膜圧電共振子。

- 5 51. 前記上部電極及び前記内部電極のそれぞれは、モリブデン、タングステン、ニオブ、モリブデンを主成分とする合金、タングステンを主成分とする合金、ニオブを主成分とする合金、イリジウム、白金、金、銀、イリジウムを主成分とする合金、白金を主成分とする合金、金を主成分とする合金、銀を主成分とする合金、マグネシウム、アルミニウム、チタン、バナジウム、ジルコニウム、ハフニウム、タンタル、クロム、ニッケル、マグネシウムを主成分とする合金、アルミニウムを主成分とする合金、
- 10 金、チタンを主成分とする合金、バナジウムを主成分とする合金、ジルコニウムを主成分とする合金、ハフニウムを主成分とする合金、タンタルを主成分とする合金、クロムを主成分とする合金、およびニッケルを主成分とする合金から選ばれる金属からなる金属層の2種類以上の積層を含んで構成されていることを特徴とする、請求項48に記載の薄膜圧電共振子。
- 15

FIG. 1

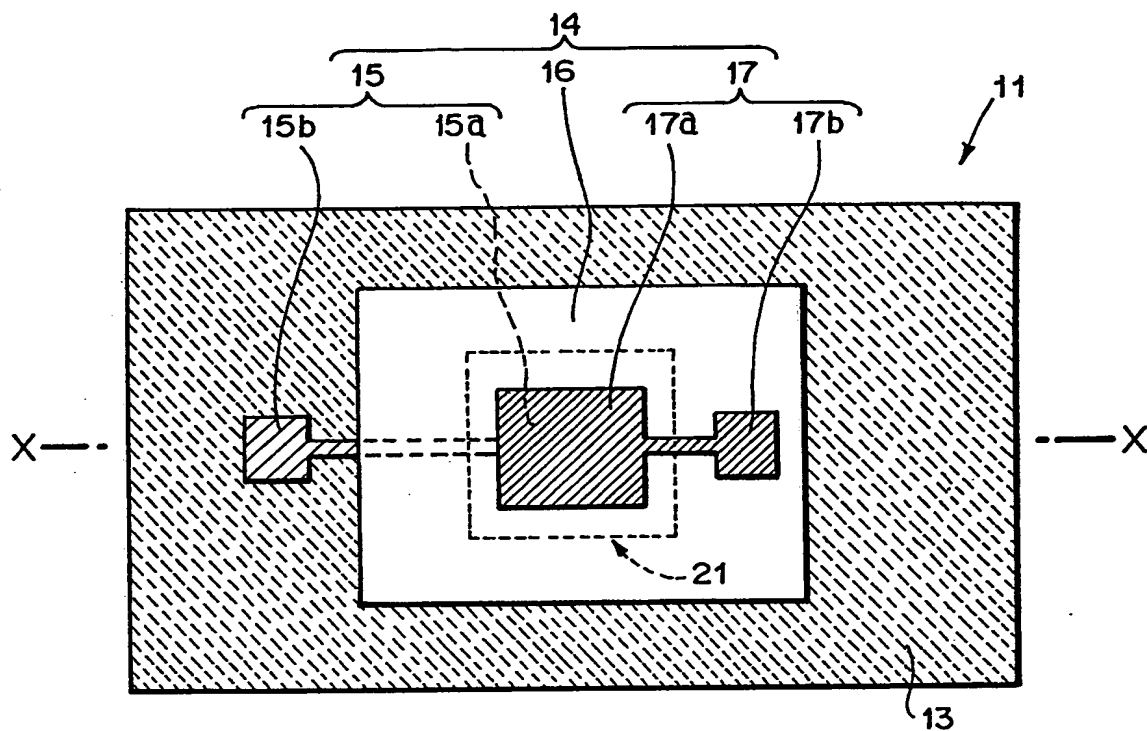
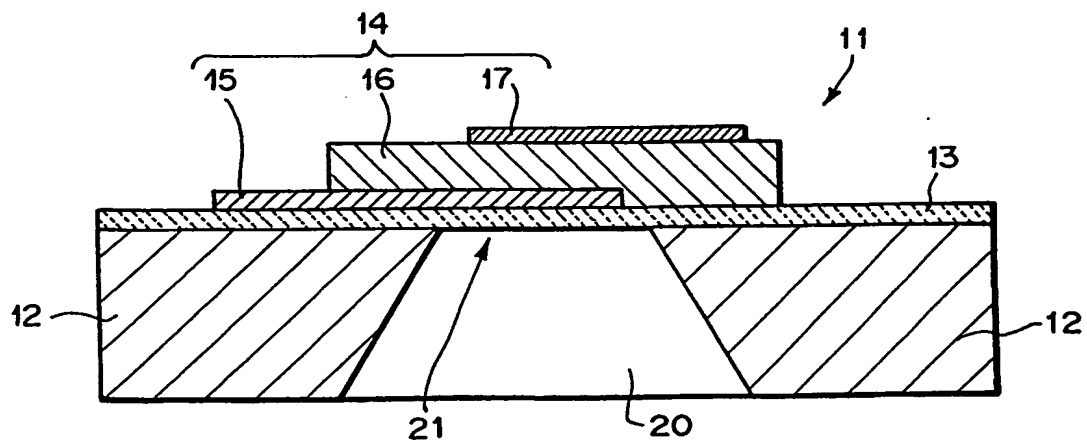
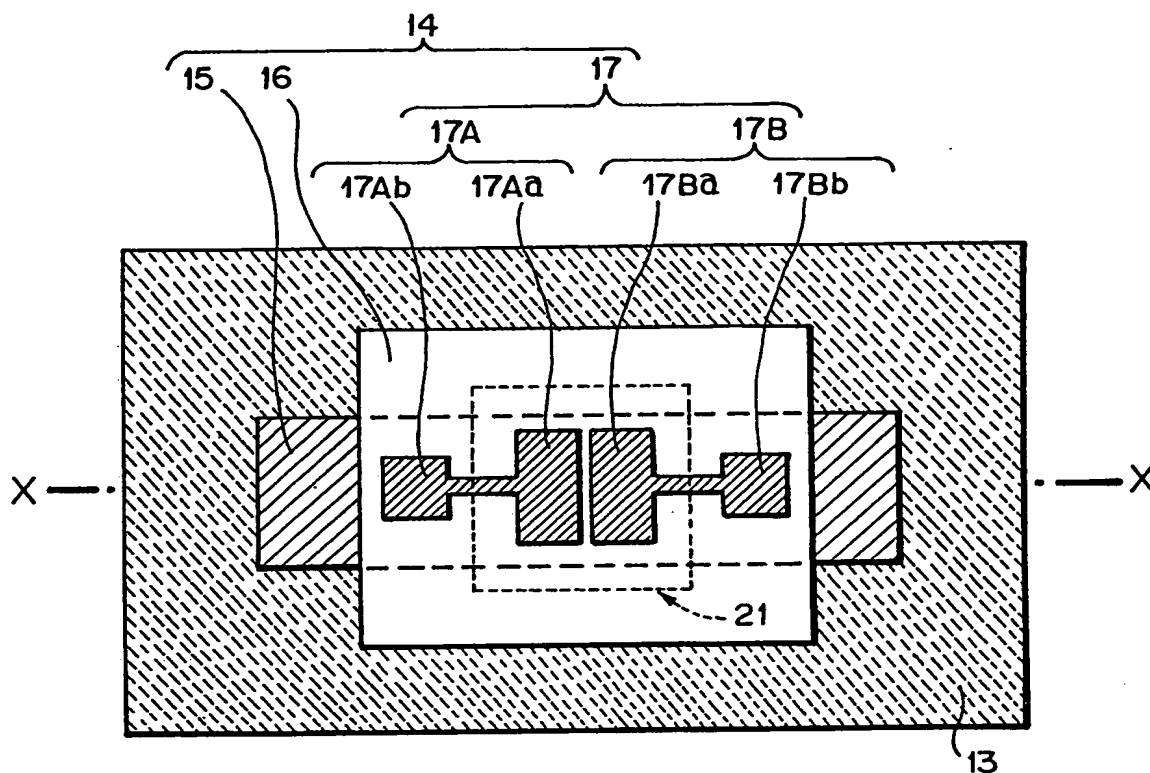


FIG. 2



**FIG.3**



**FIG.4**

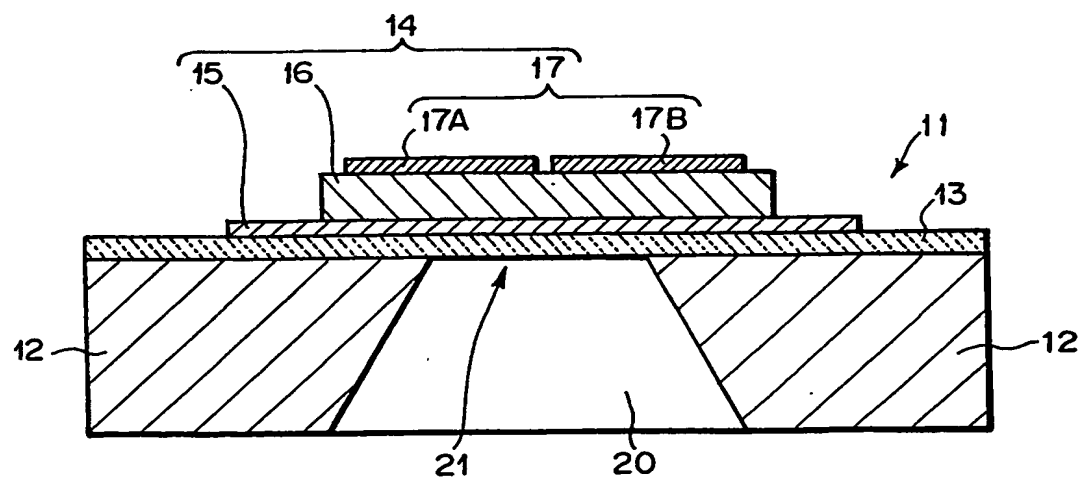


FIG.5

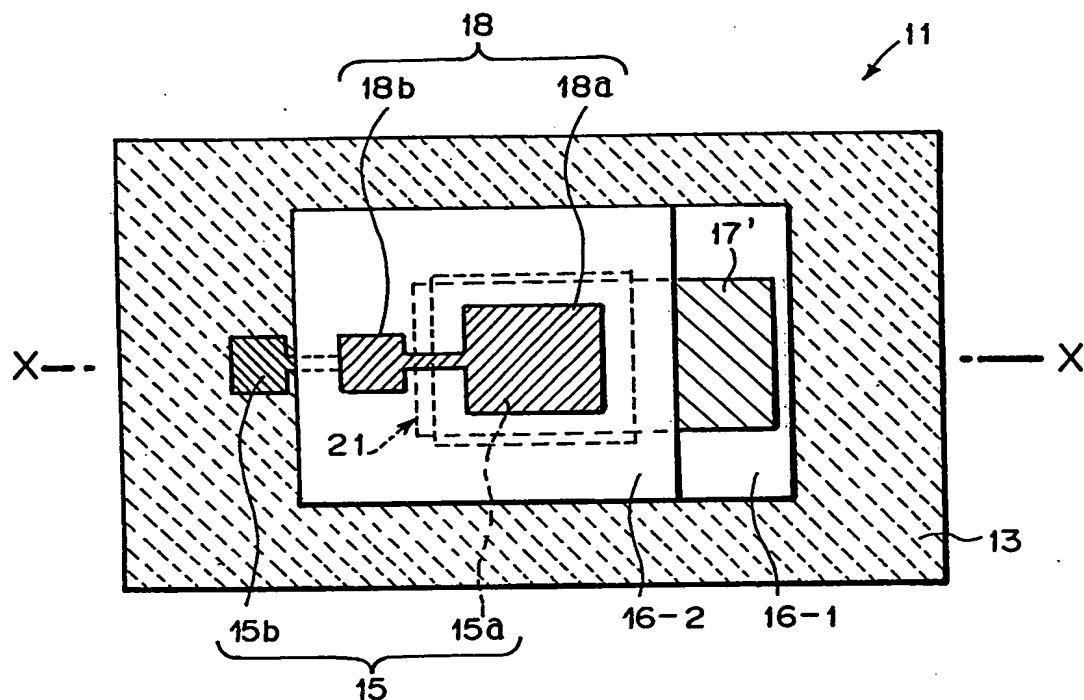


FIG.6

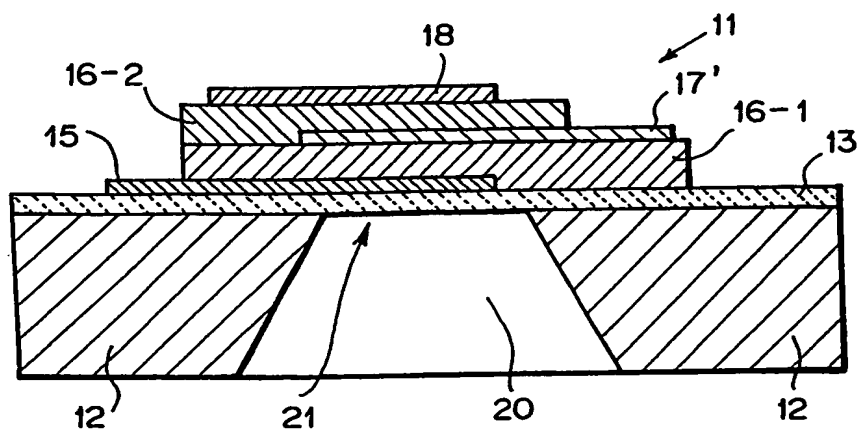


FIG.7

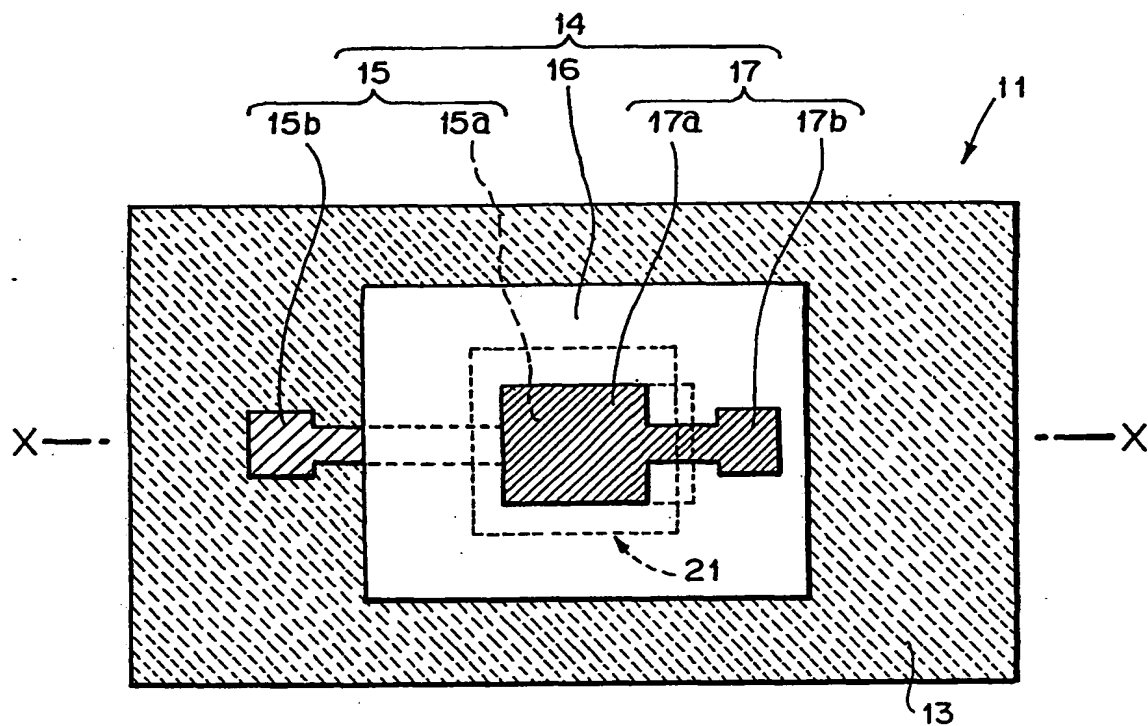


FIG.8

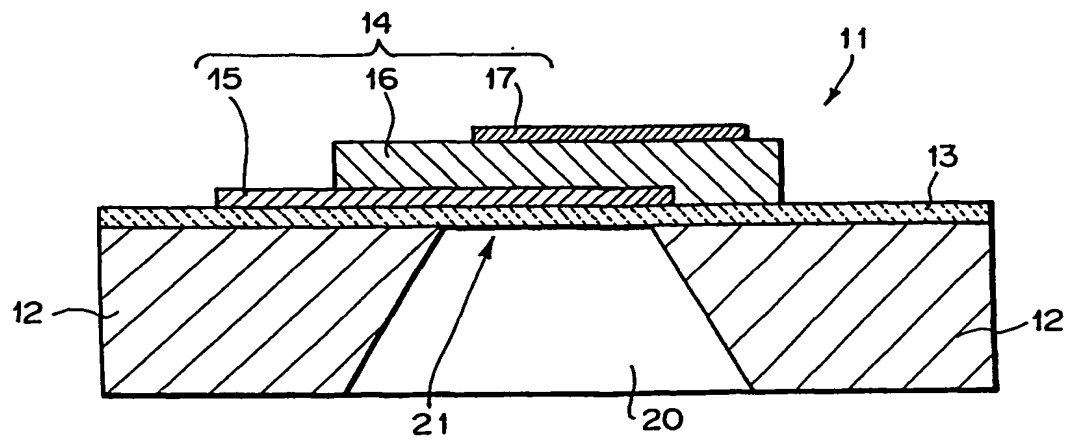


FIG.9

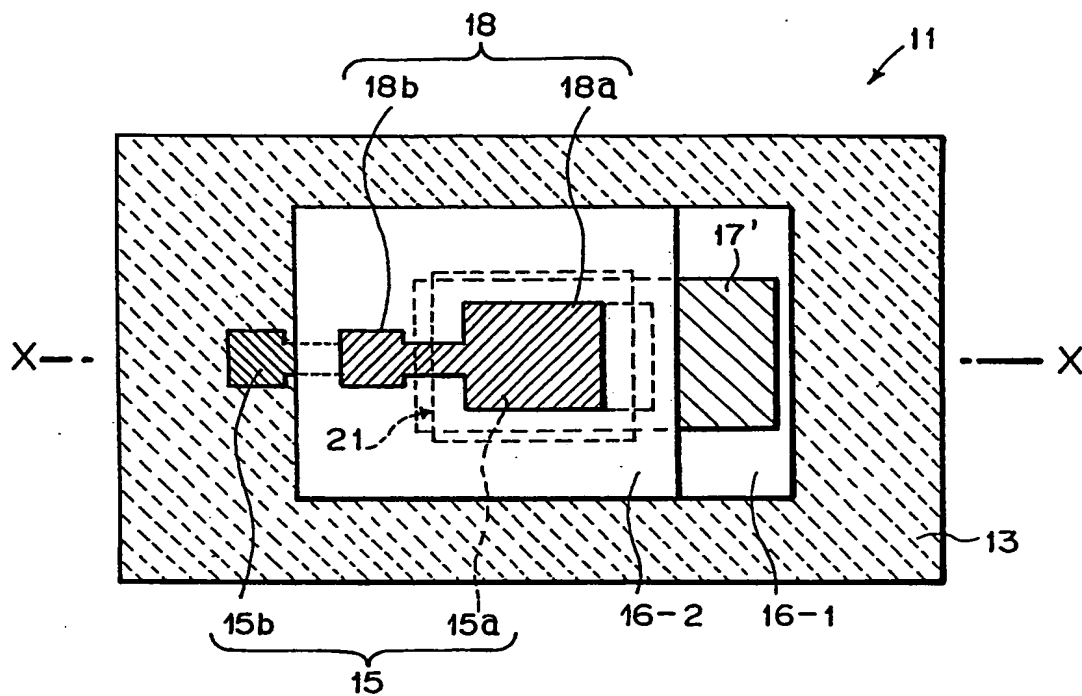
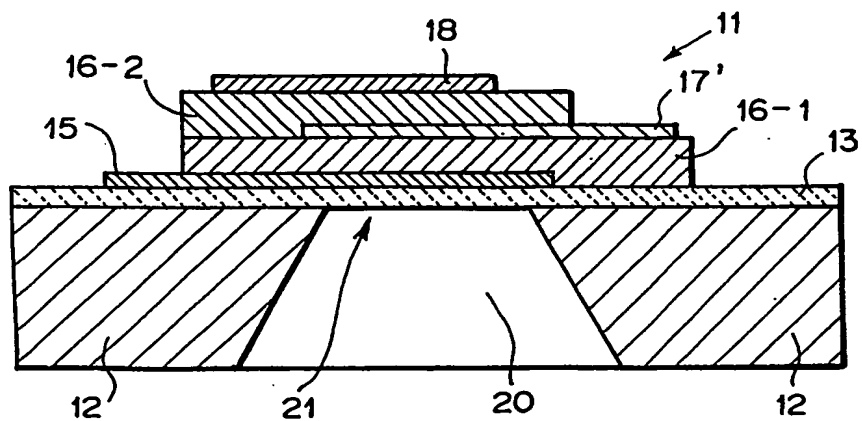


FIG.10



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/04576

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> H03H9/17

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> H03H9/00Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-244030 A (Mitsubishi Electric Corp.),	1-10
A	08 September, 2000 (08.09.00),	11-18
A	Figs. 1, 3	19-25
A	(Family: none)	26-31
Y		32-51
Y	JP 11-284480 A (Mitsubishi Electric Corp.),	1-10
A	15 October, 1999 (15.10.99),	11-18
A	Figs. 1 to 4	19-25
A	(Family: none)	26-31
Y		32-51
Y	JP 9-130200 A (Mitsubishi Electric Corp.),	1-10
A	16 May, 1997 (16.05.97),	11-18
A	Figs. 1, 2	19-25
A	& EP 771070 A3	26-31
Y		32-51

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
09 August, 2002 (09.08.02)Date of mailing of the international search report  
20 August, 2002 (20.08.02)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/04576

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-318864 A (Murata Mfg. Co., Ltd.),	1-10
A	04 December, 1998 (04.12.98),	11-18
A	Fig. 1	19-25
A	(Family: none)	26-31
Y		32-51
Y	JP 9-130199 A (Mitsubishi Electric Corp.),	1-10
A	16 May, 1997 (16.05.97),	11-18
A	Figs. 1 to 4	19-25
A	(Family: none)	26-31
Y		32-51
Y	JP 2000-332569 A (TDK Kabushiki Kaisha),	1-10
A	30 November, 2000 (30.11.00),	11-18
A	Fig. 1	19-25
A	(Family: none)	26-31
Y		32-51

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. <sup>7</sup> H03H9/17

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. <sup>7</sup> H03H9/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2002年

日本国登録実用新案公報 1994-2002年

日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2000-244030 A (三菱電機株式会社) 20	1-10
A	00.09.08、第1、3図 (ファミリーなし)	11-18
A		19-25
A		26-31
Y		32-51
Y	JP 11-284480 A (三菱電機株式会社) 199	1-10
A	9.10.15、第1-4図 (ファミリーなし)	11-18
A		19-25
A		26-31
Y		32-51

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.08.02

国際調査報告の発送日

20.08.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

工藤 一光

5W

9274

電話番号 03-3581-1101 内線 3574

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 9-130200 A (三菱電機株式会社) 1997. 05. 16、第1、2図 & EP 771070 A3	1-10
A		11-18
A		19-25
A		26-31
Y		32-51
Y	JP 10-318864 A (株式会社村田製作所) 199 8. 12. 04、第1図 (ファミリーなし)	1-10
A		11-18
A		19-25
A		26-31
Y		32-51
Y	JP 9-130199 A (三菱電機株式会社) 1997. 05. 16、第1-4図 (ファミリーなし)	1-10
A		11-18
A		19-25
A		26-31
Y		32-51
Y	JP 2000-332569 A (ティーディーケイ株式会 社) 2000. 11. 30、第1図 (ファミリーなし)	1-10
A		11-18
A		19-25
A		26-31
Y		32-51